

УДК 656.11

№ держ. реєстрації

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)
61002, м. Харків-02, вул. Ярослава Мудрого, 25
тел. (057) 707-37-06

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
д-р техн. наук, проф.

В. О. Богомолів

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ
БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Декан факультету транспортних систем,
канд. екон. наук, проф.

Ю. О. Бекетов

Зав. кафедрою організації і безпеки дорожнього руху,
д-р техн. наук, проф.

І. С. Наглюк

2020

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР зав. кафедрою ОіБДР д-р техн. наук, професор	І. С. Наглюк (реферат, вступ, висновки, розділ 1)
Д-р техн. наук, професор	О. В. Степанов (розділ 11)
Канд. техн. наук, професор	Л. С. Абрамова (розділ 6)
Канд. техн. наук, доцент	А. В. Бажинов (розділ 10)
Канд. техн. наук, доцент	В. В. Ширін (розділ 7)
Канд. техн. наук, доцент	О. В. Рябушенко (розділ 12)
Канд. техн. наук, доцент	О. О. Холодова (розділ 2)
Канд. техн. наук, доцент	Н. О. Семченко (розділ 4)
Канд. техн. наук, доцент	О. В. Запорожцева (розділ 5)
Канд. техн. наук, доцент	С. В. Капінус (розділ 9)
Канд. техн. наук, доцент	Г. Г. Птиця (розділ 8)
Ст. викл.	О. С. Левченко (розділ 13)
Асистент	Д. В. Засядько (розділ 3, верстка)

Відділ акредитації, стандартизації
та якості навчання

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 181 с., 62 рисунки, 10 таблиць, 123 джерела.

ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ, ЗАЛІЗНИЧНИЙ ПЕРЕЇЗД, БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Об'єкт дослідження — процес руху транспортних засобів та пішоходів у транспортних системах великих та значних міст, на замських дорогах, залізничних переїздах.

Розглянуто роль активної безпеки автомобіля у підвищенні безпеки руху, системи паркінгів у містах, процес руху транзитних транспортних потоків у центральній частині міст, швидкісний режим у містах, ефективність функціонування світлофорних об'єктів та залізничних переїздів, розглянуто питання безпеки дорожнього руху поблизу дитячих навчальних закладів, місць стоянок транспортних засобів. Окремо розглянуте питання антитерористичної безпеки транспорту, оцінки наслідків дорожньо-транспортних пригод.

Мета роботи — дослідження закономірностей дорожнього руху у містах, замських дорогах, залізничних переїздах, аудит безпеки дорожнього руху.

Методи дослідження — математичне та імітаційне моделювання транспортних процесів, статистичний аналіз параметрів системи «водій-автомобіль-дорога-середовище».

Дані прогностичні рекомендації щодо підвищення безпеки дорожнього руху та її аудиту, проведено пошук оптимальних транспортних технологій для підприємств, суспільства, галузі.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Використання ременя безпеки водіями легкових автомобілів в м. Харків	8
2 Спосіб визначення допустимої пішохідної дистанції при обслуговуванні автомобілів об'єктами паркування	16
3 Особливості використання глобальних навігаційних систем для отримання значень параметрів транспортних потоків	29
4 Дослідження впливу економічних факторів на рівень автомобілізації	34
5 Розподіл затримок транспортних засобів на смугах автомагістралей	53
6 Теоретичні основи управління дорожнім рухом на стратегічному рівні системи управління	60
7 Підвищення якості координованого управління на міських магістралях	78
8 Аналіз структури управління безпекою дорожнього руху	89
9 Формування бази моделей зміни інтенсивності транспортних потоків на вулицях міста різних категорій	104
10 Результати оцінки рівня небезпеки транспортних потоків на вулично-дорожній мережі і обґрунтування заходів з його зниження	118
10.1 Визначення рівня інтегрального техногенного ризику на об'єктах досліджуваної вулично-дорожньої мережі	118
10.2 Кількісна оцінка просторово-часової ємності транспортного потоку на об'єктах міської вулично-дорожньої мережі	118
10.3 Зв'язок просторово-часової ємності транспортного потоку з інтегральними показниками техногенного ризику	119
10.4 Загальний прогноз зміни рівня інтегрального техногенного ризику на вулично-дорожній мережі міста	128
10.5 Зв'язок просторово-часової ємності транспортного потоку з його інтенсивністю і складом	129
10.6 Оцінка ефективності різних заходів на вулично-дорожній мережі міста з точки зору зменшення рівня ризику	134

10.7 Розробка програмного обчислювального комплексу з дослідження і прогнозування рівня інтегрального техногенного ризику на опорній вулично-дорожньої мережі міста	137
11 Сучасний погляд на безпеку дорожнього руху: концептуальний аспект	141
12 Дослідження впливу швидкісного режиму на показники аварійності	145
12.1 Проблема дорожньо-транспортної аварійності в Україні та світі	145
12.2 Оптимізація швидкісного режиму на ВДМ міст як фактор безпеки дорожнього руху	147
12.3 Методи оцінки впливу швидкісного режиму на безпеку руху	150
12.4 Аналіз впливу швидкісного режиму на показники тяжкості ДТП	151
12.5 Аналіз впливу зміни обмежень швидкості в населених пунктах України на показники аварійності	153
12.6 Дослідження швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП	155
13 Порівняльний аналіз сучасних детекторів транспорту	159
Висновки	167
Перелік посилань	171

ВСТУП

Транспорт, зокрема автомобільний транспорт, є найважливішою структурною складовою економіки країни. Транспортні системи необхідно постійно розвивати та вдосконалювати. При цьому з ускладненням транспортних систем виникають нові транспортні проблеми. Найпроблемнішими у аспекті організації та управління є транспортні системи великих та значних міст.

Саме на вирішення проблем транспортних систем великих та значних міст спрямовані усі науково-дослідні роботи кафедри організації і безпеки дорожнього руху ХНАДУ.

У даному звіті наведені результати НДР за такими напрямками:

- удосконалення методів організації дорожнього руху;
- удосконалення вулично-дорожніх мереж великих та значних міст;
- формування систем паркінгів та поліпшення організації дорожнього руху у центральних частинах великих міст;
- удосконалення алгоритмів функціонування автоматизованих систем управління дорожнім рухом;
- удосконалення моделей руху транспортних потоків;
- аудит безпеки дорожнього руху;
- визначення параметрів транспортних потоків за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем та відеодетекторів транспорту;
- вплив швидкісного режиму на показники якості дорожнього руху.

1 ВИКОРИСТАННЯ РЕМЕНЯ БЕЗПЕКИ ВОДІЯМИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ В М. ХАРКІВ

На сьогодні автомобільний транспорт відіграє важливу роль у житті населення та в роботі різних підприємств України. Важко уявити сучасну країну без вантажних і пасажирських перевезень.

Забезпечення безпеки дорожнього руху треба розглядати як серйозну соціально-економічну задачу. Для успішного рішення проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху потрібен комплексний підхід, спільні зусилля значної кількості міністерств, відомств, громадських організацій, заінтересованої участі усіх членів товариства.

За офіційними даними Національної поліції України, щороку відбувається понад 150 тисяч дорожньо-транспортних пригод, а саме у місті Харків понад 10 тисяч. Види ДТП можуть бути різними: зіткнення, перекидання, наїзди. ДТП відбуваються не тільки з вини водіїв, а й пішоходів та інших учасників руху. Наслідки кожної з дорожньо-транспортних пригод нерідко фатальні. Щороку на дорогах України гине не менше 3,5 тисяч людей та травмуються не менше 35 тисяч, з них не менше 100 людей гине та більше 1,5 тисячі людей травмуються в місті Харків. Тобто кожного дня на дорогах України гине понад 9 осіб [1].

За цими показниками аварійності та наслідками дорожньо-транспортних пригод Україна є одним з лідерів серед європейських країн [2].

Сучасний автомобіль є джерелом підвищеної небезпеки. Постійне зростання потужності двигуна та максимальної швидкості автомобіля, велика щільність автомобільних потоків значно збільшує імовірність виникнення аварійної ситуації. Безпека транспортного засобу включає в себе комплекс конструктивних та експлуатаційних властивостей, що знижують імовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод, тяжкість їхніх наслідків та негативний вплив на навколишнє середовище. Розрізняють активну, пасивну, післяаварійну та екологічну безпеку транспортного засобу [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Пасивна безпека автомобіля та дороги проявляється в тих випадках, коли у водія відсутня можливість запобігти ДТП через втрату автомобілем стійкості (занос, перекидання) або дестабілізації елементів його системи (переміщення важкого вантажу в кузові або занос причепа), недосвідченості, стомлення, фізичних вад, раптового погіршення здоров'я. При втраті автомобілем маневреності та керованості, що може бути наслідком недоліків його конструкції, технічної несправності, незадовільного стану окремих агрегатів і систем автомобіля. У цих ситуаціях водій стає пасивним учасником подій, і тяжкість наслідків ДТП залежить в основному від конструктивних особливостей автомобіля, швидкості його руху, параметрів автомобільної дороги, використання водієм і пасажиром ременів безпеки.

Використання ременів безпеки є найбільш дієвим засобом захисту водіїв і пасажирів під час дорожньо-транспортних пригод. Застебнуті ремені зменшують ризик контакту тіла з деталями автомобіля в разі зіткнення, утримують людину від викидання з автомобіля та небезпечних переміщень всередині автомобіля (наприклад, в разі перевертання), зменшують ймовірність завдання травм іншим пасажиром (наприклад, не пристебнутий пасажир на задньому сидінні в разі лобового зіткнення летить вперед і завдає важких травм тим, хто сидить попереду, навіть якщо вони пристебнуті) та гарантують оптимальне спрацювання подушок безпеки. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, ефективність ременів безпеки для порятунку життів становить близько 50 % у дорожньо-транспортних пригодах, результатом яких у випадку невикористання ременів стала би смерть водія та пасажирів [10, 11].

Ремінь безпеки звичайного типу, безумовно, виручає при аваріях. Однак при сильних ударах корпус водія вислизає з під ременя, приводячи до травматизму. Фахівці SAAB запропонували систему безпеки з двох плечових ременів SSB (Saab Supplementary Belt). Додатковий ремінь із двохточковим кріпленням проходить через плече і охоплює груди водія або переднього пасажирів і закріплюється у верхній частині спинки кожного сидіння.

Для надійного закріплення ременів використовуються натягувачі. Сила натягу ременів регулюється, щоб водій міг міцніше утримуватися на сидінні при

їзді по звивистій або поганій дорозі. Хоча ремінь має дві окремі петлі, його можна легко і швидко відстебнути, натиснувши одну кнопку.

Ремені безпеки зменшують ризик загибелі водія і пасажирів залежно від типу аварії від 2 (лобове і бокове зіткнення) до 5 разів (перекидання). В Україні згідно з Правилами дорожнього руху використання ременів безпеки є обов'язковим для водія і всіх пасажирів, в том числі тих, що перебувають на задньому сидінні. Дозволяється не пристібатися особі, яка навчає водінню, якщо за кермом учень, а в населених пунктах, крім того, водіям-інвалідам, водіям і пасажиром оперативних та спеціальних транспортних засобів і таксі [10].

Говорячи про проблему ігнорування ременя безпеки, слід зауважити, що однією з причин низького рівня використання ременів безпеки є незначна відповідальність. Наразі адміністративне покарання за порушення правил користування ременями безпеки та мотошоломами в Україні становить 3 неоподатковувані мінімуми доходів громадян.

Розмір даного штрафу є занадто поблажливим та неспіврозмірно низьким порівняно з тяжкими наслідками, які можуть бути спричинені через недотримання правил. Окрім того, встановлення державою такого незначного розміру штрафу створює у водіїв та пасажирів уявлення, що порушення цих норм є чимось дріб'язковим та несуттєвим, хоча наслідком є численні людські втрати. Сукупність цих факторів сприяє масовому ігноруванню користування ременями безпеки, що призводить, в свою чергу, до збільшення кількості загиблих та травмованих на дорогах України.

Відсутність суворої системи покарань здатна ввести в оману водіїв, натякаючи, що порушення за ігнорування ременів є «дрібницею». Для порівняння: у Франції штраф за ігнорування ременя безпеки становить 135 євро (понад 3,5 тисячі грн.), у Чехії — 77 євро (понад 2 тисячі грн.), в Словенії — 120 євро (понад 3,1 тисячі грн.), а в сусідній Польщі — 23 євро (понад 600 грн.). Розміри штрафів для інших країн представлені в табл. 1.1 [12]. Статистика цих країн показує, що такі заходи влади є досить дієвими: Франція — 99 % водіїв користуються ременями безпеки, Чехія — 97 %, Словенія — 93 % і Польща — 83 %.

Таблиця 1.1 – Штрафи за ігнорування ременя безпеки

Країна	Штраф за ігнорування ременя безпеки	
	Євро	Гривень
Франція	135	понад 3500
Чехія	77	понад 2000
Словенія	120	понад 3100
Польща	23	понад 600
Люксембург	145	понад 3800
Швейцарія	104	понад 2700
Нідерланди	140	понад 3600
Данія	155	понад 4000
Швеція	156	понад 4100
Норвегія	160	понад 4200
Іспанія	300	понад 7900
Португалія	120	понад 3100
Італія	80	понад 2100
Румунія	32	понад 800
Болгарія	25	понад 600
Україна	1,9	51

На перший погляд може здатися, що ці країни далекі від реалій української проблеми, де тільки 24 % (за результатами обстеження кампанії «За безпечні дороги») [12] водіїв дійсно користуються ременями, тому порівнювати їх неправильно. На подібні закиди є інший приклад — Великобританія, де до прийняття відповідного закону у 1983 році про відповідальність за ігнорування ременя на передньому сидінні та інформаційної кампанії щодо цього рівень користування ременями був приблизно такий же, як і в Україні сьогодні — 25 %. Зате після введення штрафу — 90 %. У 1991 р. користування ременем стало

обов'язковим для водія та пасажирів, і рівень свідомості громадян зріс з 10 % до 40 %.

Під час обстеження використовувався візуальний метод, дослідниками-спостерігачами обиралися максимально зручні для спостереження місця, щоб мінімізувати ймовірність помилок або неможливість виявити наявність чи відсутність ремня безпеки на плечі водія. До обстеження було включено водіїв легкових та вантажних автомобілів, мікроавтобусів, але не включено водіїв маршрутного міського, приміського та міжміського громадського транспорту

У період з 2015 по 2019 рік обстеження проводились на різних локаціях, розташованих в різних частинах міста. По вулиці Сумській на перетині з вулицями Динамівська, Весніна, Данилевського, Олесь Гончара, Свободи, Маяковського. По вулиці Пушкінській на перетинанні з вулицями Студентська, Гуданова, Свободи. По вулиці Ярослава Мудрого на перетинанні з вулицями Чернишевською, Алчевських, Пушкінською. По вулиці Гвардійців-Широнінців на перетинанні з проспектом Ювілейним та вулицею Салтівське шосе. По проспекту Юрія Гагаріна на перетинанні з вулицями Одеська, Мереф'янське шосе. Також по вулицям Героїв праці, Самсонівській, Академіка Проскури, Чкалова, Шевченка, проспекту Людвіга Свободи, вулицям 23 Серпня, Чкалова, Юрія Парашука. Та на перетині вулиць Динамівська – Трінклера, Олесь Гончара – Мироносицька, Академіка Павлова – Московський проспект, Северина Потоцького – Олександрівський проспект.

Місцезнаходження деяких локацій представлено на рис. 1.1.

Рисунок 1.1 – Місцезнаходження локацій обстеження

Результати проведеного обстеження представлені в табл. 1.2 та на рис. 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати обстеження

Рік обстеження	Водії, що використовують ремені безпеки		Водії, що ігнорують ремені безпеки		Вибірка водіїв
	кількість	частка, %	кількість	частка, %	
2015	213	25	641	75	854
2016	43	31	97	69	140
2017	216	30	504	70	720
2018	165	41	235	59	400
2019	225	36	395	64	620
Середнє	172,4	32,6	374,4	67,4	546,8

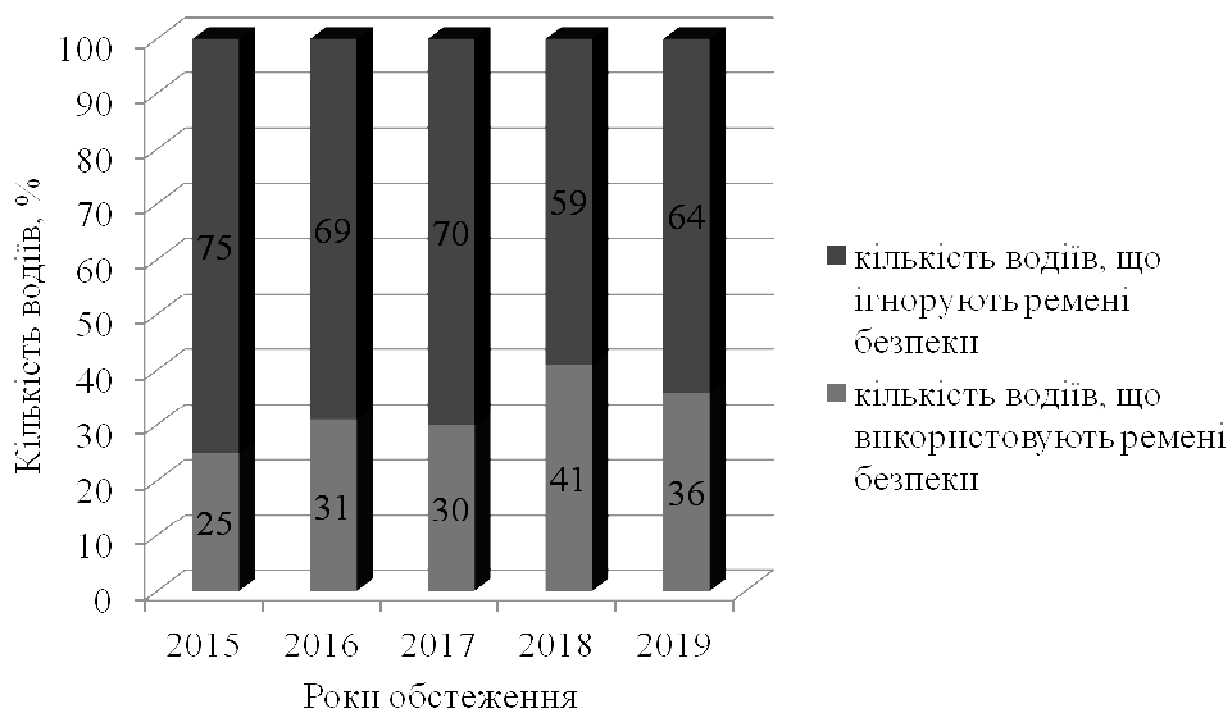


Рисунок 1.2 – Кількість водіїв, що використовують та ігнорують ремені безпеки

Аналіз результатів обстеження показує, що в період з 2015 по 2019 рік відсоток ігнорування ременя безпеки водіями транспортних засобів є досить великим і коливається від 59 % до 75 %.

Звідси випливає, що врегулювання питання з підвищенням самосвідомості громадян в Україні має обов'язково відбуватися на двох рівнях: законодавчому та просвітницько-соціальному.

Для цього повинні проводитися певні кампанії та програми виборчого контролю за застосуванням ременів безпеки, які призведуть до покращення використання ременів безпеки та проявляться в підвищенні рівня їх використання.

2 СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМОЇ ПІШОХІДНОЇ ДИСТАНЦІЇ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ АВТОМОБІЛІВ ОБ'ЄКТАМИ ПАРКУВАННЯ

Суттєве зростання кількості хаотичних паркувань легковими автомобілями безпосередньо біля об'єктів мети поїздки (торгових об'єктів, офісів банків, компаній та ін.) є наслідком збільшення ділової активності населення та бажання “зручності” в користуванні об'єктами паркування (ОП). Це призводить до перевантаження вулично-дорожньої мережі великих і крупних міст, особливо в їх центральних ділових частинах (ЦДЧ), зменшення середньої швидкості руху транспортних засобів і росту часу їх переміщення або заторів. Ускладнення обумовлене ще й тим, що інфраструктура переважної більшості ЦДЧ міст України формувалася в період, коли рівень автомобілізації був незрівнянно малий і сучасних проблем розміщення ОП автомобілів фактично не існувало.

Суб'єктивний погляд користувачів на проблему розміщення ОП майже однозначний. Якщо при транспортному плануванні міст місця розміщення ОП не будуть достатньо “привабливими” для власників автомобілів, то значне їх число відмовиться від паркування, а саме будівництво стане економічно не оправданим. Розміщення ОП та їх кількість залежить від багатьох факторів: кількість об'єктів відвідування користувачами та потенційних користувачів, доступність та “зручність” користування цими об'єктами, наявність можливих місць в інфраструктурі населеного пункту, юридичні, адміністративні, фінансові обмеження та ін. Для визначення раціонального місця паркування враховується центр транспортного тяжіння, який залежить від місця дислокації об'єктів відвідування користувачами, кількості бажаючих скористатися ОП, пішохідної дистанції та часу підходу користувачів до об'єктів мети поїздки, а також вартості (тарифів) паркування. Серед названих мотивів для користувачів найбільш привабливим є загальний час підходу, який залежить від пішохідної дистанції (радіуса обслуговування) з врахуванням розташування дозволених пішохідних переходів та інтенсивності руху пішоходів. Тобто раціональне розміщення ОП вагомо залежить від величини пішохідної дистанції в ЦДЧ міста. Її забезпечення

сприятиме прийняттю рішення потенційним користувачем скористатися пропонованим ОП та дозволить отримати економічне підґрунтя розміщенню таких об'єктів.

У джерелах науково-технічної інформації науковцями достатньо уваги надано питанню раціонального розміщення об'єктів паркування легкових автомобілів в ЦДЧ міст [13-14]. Проведений окремими авторами аналіз матеріалів щодо встановлення середньої величини пішохідної дистанції показав, що однією з перепон до вирішення зазначеної проблеми необхідно віднести вимоги нормативних документів, призначених для формування інфраструктури населених пунктів, в тому числі й вулично-дорожньої мережі ЦДЧ міст. Так, в документі [13] рекомендовано встановлювати довжину пішохідних потоків до відкритих автостоянок і гаражів тимчасового та короткотривалого зберігання від центрів тяжіння диференційовано. За умовами розміщення та за призначенням відповідних об'єктів довжина пішохідних потоків не повинна перевищувати: 150 м від пасажирських приміщень вокзалів, залізничних платформ, входів в метро, закладів торгівлі та загального харчування при короткотривалому терміні зберігання автомобілів; 300 м від інших закладів культурно-побутового обслуговування населення та адміністративних будівель; 600 м від входів в парк загальноміського значення, лісопарк, крупний виставковий комплекс, стадіон, критий спортивний зал, при стоянці автомобілів біля об'єктів відпочинку, спорту та розваг. Але ці значення не залежать від прийнятого принципу розміщення об'єктів паркування.

У нормативному документі [14] розміри пішохідних підходів скореговані і становлять 150 м, 250 м і 400 м у порівнянні з вказаними в документі [13] відстанями від стоянок для тимчасового зберігання легкових автомобілів без надання способу обґрунтування вказаних величин.

Нормативним документом [15] довжина пішохідного підходу до гаражів і автостоянок постійного зберігання легкових автомобілів від місця проживання власника встановлюється в межах до 800 м, а в умовах реконструкції – до 1000 м. Віддаленість автостоянок, призначених для тимчасового зберігання від входів

у житлові будинки не повинна перевищувати 150 м. У цьому документі також не надається обґрунтування зазначених величин.

Нормативним документом [16], при плануванні забудов, рекомендована відстань від в'їздів (виїздів) стоянок до елементів вулично-дорожньої мережі (перетинання, зупинка міського пасажирського транспорту тощо). Але також не надається інформації про можливості таких стоянок стосовно максимально допустимих радіусів обслуговування користувачів.

Як бачимо, в наведених нормативних документах відсутня інформація щодо способу обґрунтування зазначених цифр відстаней.

Інформація стосовно вирішення проблеми розміщення місць паркування та способу встановлення величини пішохідної дистанції надається наведеними нижче авторами. Так, Дж. Оппенлендер [17] рекомендує при розміщенні автомобільних стоянок у ЦДЧ міст забезпечувати мінімально можливу середню величину піших пересувань користувачів з врахуванням розмірів населеного пункту, топографією місцевості, типом стоянки, метою поїздки, платою за стоянку і приналежністю стоянки. Автор стверджує, що середня відстань, пройдена водієм пішки від стоянки до місця мети поїздки, залежить від розміру міста (кількості населення). Якщо кількість жителів району міста змінюється від 10 тис. чол. до 1000 тис. чол., тоді середня відстань (залежно від мети поїздки), наприклад, на роботу, збільшується з 82 м до 198 м, а за покупками – від 60 м до 170 м. Збільшення відстані залежить і від типу стоянки, наприклад, відкритої поза вуличної – від 64 м до 232 м. Аналогічно середня відстань збільшується в залежності від тривалості паркування: до 1 год. становить від 67 м до 158 м, а більше 5 год. — від 101 м до 277 м. Тобто, із збільшенням чисельності населення значення пішохідної дистанції може змінюватись в широких межах. Встановлювати його величину для конкретного міста рекомендується з використанням натурних досліджень.

Герберт С. Левінсон [17] встановив, що величина пішохідної дистанції в ЦДЧ міст змінюється залежно від розміру міста, пов'язана з місцем розташування зупинок громадського транспорту і автомобільних стоянок відносно великих магазинів та установ. Наприклад, для міста середнього розміру

середня величина пішохідної дистанції 80 % власників автомобілів складає до 370 м, а 20 % — близько 150 м. Значення цих величин встановлені натурними дослідженнями. Автор розділив піші пересування на дві основні категорії: між зупинками громадського транспорту або автомобільними стоянками і місцями додатка праці; між торгівельними об'єктами та установами в торгових зонах. Ця особливість піших пересувань повинна бути врахована при формуванні руху в центральних районах міста.

Дональд Є. Клевленд [17] рекомендує встановлювати межу дослідження не тільки самого джерела виникнення проблеми стоянок (ділова частина, парк промислових автомобілів та ін.), а і навколишній район з охопленням “розумної відстані” в межах 90...450 м від стоянки. Спосіб встановлення величини такої відстані не пояснюється.

Р. Christiansen та інші [18] наводять інформацію, що відстань, яку проходить користувач від ОП до місця призначення поїздки, за розмірами менше ніж відстань підходу до зупинки міського транспорту. Тому власники паркінгів переконують користувачів відмовлятися від використання міського транспорту, оскільки комфортніше використовувати ОП. Автори переконують, що розміщення ОП треба здійснювати так, щоб інтервал між ними за величиною відстані був максимально наближений до самих близьких зупинок на маршрутах міського транспорту.

Голубничий В. А. [19] встановив, що ємність об'єкту N_n стаціонарного паркування залежить від величин середнього радіусу обслуговування R . На основі наведених у цій роботі даних нами встановлено, що вказана залежність є експоненціальною та має вигляд

$$R = 30,61 \cdot e^{0,444 N_n}. \quad (2.1)$$

При цьому автор не наводить спосіб встановлення межі величини ємності об'єктів, а значить і величини радіусу, що вплине на привабливість ОП, оскільки в роботі надається інформація про зменшення кількості користувачів при

збільшенні ємності ОП. Крім того, зазначені дослідження не спрямовані на рішення проблеми розміщення ОП з метою зменшення кількості хаотичного паркування на вулично-дорожній мережі в ЦДЧ міста.

Ігнат'єв Ю. В. [20] пропонує здійснювати диференціацію параметрів паркувань різного типу зон міста з урахуванням різних факторів і деяких закономірностей між основними показниками паркувань, а величину радіусу обслуговування ОП встановлювати в межах від 100 до 3000 м (без значень для стоянок в житловій забудові). Також наводиться залежність місткості паркінгу M_a від радіусу обслуговування R

$$M_a = 100 + 0,2R. \quad (2.2)$$

Але спосіб визначення величини радіусу не обговорюється. Вказану залежність рекомендується використовувати лише в попередніх розрахунках при проектуванні і будівництві системи паркувань.

Холодова О. О. в роботах [21, 22] пропонує визначити максимальний радіус обслуговування користувачів ОП в залежності від величини ємності паркінгу N_n та коефіцієнту зміни максимального радіусу $k_{зм}$, що корегується з врахуванням максимально “зручної” пішохідної дистанції

$$R = k_{зм} \sqrt{N_n}. \quad (2.3)$$

Рекомендація ґрунтується на привабливості для користувача — чим більша вартість паркування, тим менше часу він має витратити на пересування від паркінгу до мети переміщення. Звертається увага на порядок (методику) встановлення величини радіусу в даній роботі. Для початку група експертів поділяє ЦДЧ міста на окремі зони (мікрорайони) обслуговування ОП потенційних клієнтів. Потім, для кожного мікрорайону, експерти здійснюють пошук можливого розміщення свого ОП. Можливість розміщення і тип ОП залежить від наявності незабудованого (вільного) місця на території зони,

відсутності наземних або підземних комунікацій та ін. Координати призначеного місця служать точкою відліку для розрахованого радіусу обслуговування користувачів ОП. Такий порядок встановлення місця розташування для виділеного мікрорайону не надає гарантії, що величина радіусу буде в межах привабливості, оскільки не врахована вага (перевага за кількістю) користувачів, інакше необхідно встановлювати іншу їх кількість ЦДЧ міста. А це означає, що значення допустимого радіусу обмежується розмірами мікрорайону. Якщо радіус буде меншим, то не всі об'єкти мети поїздки користувачів попадуть у зону обслуговування належним до неї ОП. Крім того, запропонований спосіб розділення на зони не враховує наявну кількість і щільність розташування об'єктів мети поїздки користувачів на території ЦДЧ міста. Тобто, при розділенні території в зонах може бути розміщена рівна кількість користувачів. Все це призведе до неоправданого змінення величини радіусу обслуговування і, як наслідок, до певних втрат ОП привабливості.

Шештокас В. В. [23] зазначає, що місця стоянок автомобілів не повинні виходити за межі “зручної” пішохідної дистанції в 300 м. обґрунтування цієї величини не надається.

Peter van der Waerden з колегами [24] надали результати досліджень величини пішохідної дистанції в залежності від чотирьох різних цілей поїздки: щотижневі покупки, тижневі покупки, робота та соціальна діяльність. Були визначені шість категорій відстаней від 50 до 700 м, а також показаний взаємозв'язок між максимальною відстанню, прийнятну водіями, та власними характеристиками і характеристиками поїздки на основі поліноміального регресійного аналізу. Серед зазначених, найбільш впливовими є характеристики, пов'язані з поїздкою, зокрема “частота використання автомобіля” та “тривалість візиту”. Тобто, наведені результати дослідження спрямовані, перш за все, на надання підтримки планувальникам, які мають наміри реорганізувати забезпечення місцями паркування наявним паркінгам, розміщеним найближче до міських районів.

Стаття Mary S. Smith та Thomas A. Butcher [26] базується на широко цитованій роботі “Pedestrian planning and design” (John J. Fruin), в якій наведені

умови, що впливають на величину пішохідної відстані користувачів ОП: мета поїздки, індивідуальна подорож, наявний час для здійснення поїздки та середовище, в якому відбувається поїздка. Автори пропонують розширити перелік умов, що необхідно врахувати: типи користувачів, частоту поїздки, знайомство користувача з об'єктом, сприйняття безпеки, наявність або відсутність бар'єрів або конфліктів, вартість і доступність альтернатив. На думку авторів, врахування додаткових чинників дозволить відхилити емпіричні правила та створити адекватні посібники для дизайну паркування.

І додатково. Поняття “максимальна пішохідна відстань” серед різними суб'єктами не є однозначним, наприклад, між дизайнерами паркування, які вимагають, щоб відстань становила від 300 до 600 футів, в працівниками паркінгів — до 1200...1500 футів, а при спеціальних заходах – до 2000 футів і більше. Тому автори роблять акцент на знаходженні консенсусу у підході її визначення.

Таким чином, проведений огляд джерел інформації показав наступне.

Нормативні документи, що регламентують формування інфраструктури населених пунктів, лише рекомендують величину пішохідної дистанції для користувачів об'єктами постійного паркування автомобілів при проектуванні нових житлових районів, без вказівки способу розміщення ОП і величини відстані пішохідної дистанції.

Дослідження науковцями питання щодо піших пересувань у містах показують бажання більшості користувачів автомобілів здійснювати переходи на короткі відстані, відбиваючи бажання економити час, що витрачається на пересування, уникати незручності, пов'язані з цими пересуваннями, знаходити місце для паркування якнайшвидше та платити за це якнайменше. Ця особливість повинна бути врахована при формуванні системи ОП автомобілів у центральних ділових районах міста.

Середня величина пішохідної дистанції, серед інших чинників, визначається як найбільш вагома та приваблива причина для вибору конкретного ОП потенційним користувачем і має бути меншою за середню відстань підходу до зупинки міського транспорту.

На сьогодні відсутній загальновизнаний підхід до вибору місць розташування ОП з привабливою для користувачів величиною пішохідної дистанції до об'єктів мети поїздки.

Відсутність забезпечення основної групи потенційних користувачів системи ОП з найбільш привабливою величиною пішохідної дистанції не дає гарантії, що їх більшість скористаються пропонованими ОП і, як наслідок, перспектив економічної доцільності їх розміщення та експлуатації.

Метою роботи є розробка способу визначення максимально допустимої середньої величини пішохідної дистанції при обслуговуванні автомобілів об'єктами паркування в ЦДЧ великих і крупних міст, яка б давала певну гарантію прийняття рішення більшістю потенційних користувачів скористатися пропонованим об'єктом, а їх будівництво та експлуатація – економічно доцільним.

Для визначення максимально допустимої середньої величини пішохідної дистанції в ЦДЧ міст, як найбільш вагомої причини, що давала б певну гарантію прийняття рішення потенційним користувачем скористатися пропонованим об'єктом паркування, висунута гіпотеза про можливість використання критерію “центр ваги” для встановлення місця розташування та наступною його оптимізацією. Координати визначеного ОП беруть за відправну точку для призначення величини радіусу пішохідної дистанції. Таке рішення спрямоване на застосування в мікрорайонах міст з відсутніми або оптимізацією розміщення існуючих ОП.

Застосування такого способу визначення місця розміщення ОП можливе лише з врахуванням особливості наявної інфраструктури та умов експлуатації автотранспорту, властивих ЦДЧ заданого міста, тобто:

- дозволяється рух автомобільного транспорту на заданій території;
- наявність проблем щодо паркування автотранспорту;
- відсутність надвеликих об'єктів (стадіон, супермаркет, парк відпочинку та ін.), віднесених до об'єктів уваги користувачів;

- наявність на території певної кількості офісів фірм, банків, готелів, театрів, медичних закладів, торгових закладів та інших об'єктів — мети поїздки користувачів;

- встановлена потенційна кількість користувачів (наприклад, за даними адміністрацій заданих об'єктів), які хотіли б скористатися місцем паркування біля кожного з об'єктів;

- розміщення кількох об'єктів паркування ЦДЧ міста, з відносно невеликою кількістю місць паркування, “більш реальне” завдання ніж розміщення одного крупного, оскільки ускладнюється вибір місця дислокації, суттєво збільшується величина витрат та ін.;

- умовний поділ території ЦДЧ міста на транспортні мікрорайони здійснений з врахуванням наявних чинників; історичних, інфраструктурних, місць розміщення об'єктів відвідування користувачами, кількості бажаючих скористатися ОП, пішохідної дистанції до об'єктів мети поїздки користувачів та ін.

На практиці транспортне мікрорайонування великих населених пунктів здійснюють із застосуванням деяких правил: межею є територія поштових відділень зв'язку; максимальна площа мікрорайону не повинна перевищувати величину, при якій пішохідна дистанція користувачів від ОП не перевищуватиме максимально допустимої; центр транспортних районів, по можливості, розташовують на рівній відстані від межі транспортного мікрорайону, не тільки по відстані, але і за часом підходу, зручності та ін. [27].

Для кожного транспортного мікрорайону, на основі натурних спостережень визначають координати, фіксують на мапі та встановлюють можливу кількість місць паркування біля об'єктів – мети поїздки користувачів. Отримані значення виступають в якості необхідних ємностей транспортних мікрорайонів і використовуються для розрахунку місця розташування ОП з необхідною кількістю місць паркування.

Доступність послуг для користувачів ОП може оцінюватися критеріями кількості споживачів і якості обслуговування, що можна оцінити за допомогою експертів.

На теперішній час критерій “центр ваги” є відомим способом вирішення на практиці різних задач стосовно встановлення координат та їх оптимізації: розміщення проміжних складів зберігання товарів, розподільних центрів, пунктів швидкої допомоги, стоянок протипожежного транспорту та ін. [28].

Подібний спосіб можна застосувати при оптимізації розміщення ОП для кожного з виділених мікрорайонів ЦДЧ міста. Пропонується визначати місце розташування ОП як координати центра ваги необхідної кількості місць паркування автомобілів, яка задовольняє потребу більшості користувачів і допоможе мінімізувати величину пішохідної дистанції

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.4)$$

де X, Y - координати центра ваги;

n - кількість об'єктів користувачів;

m_i - кількість необхідних місць паркування біля i -го об'єкту користувача;

x_i, y_i - координати i -го об'єкту.

Звичайно, що використання критерію можливо лише за умови розвиненої вуличної мережі міста, наприклад, для радіально-кільцевої форми розміщення вулиць, а у випадку наявності чітко визначеного прямокутного розташування вулиць міста може застосуватися так звана “Манхеттенська відстань”, що передбачає врахування відстані між ОП і об'єктами мети переміщення потенціального користувача.

Місце розташування ОП за визначеними координатами не завжди можливе, оскільки перешкодою можуть бути особливості наявної інфраструктури, транспортна доступність, плани міської адміністрації щодо використання території, правила будівництва, обмеження на висоту будівель, пожежна безпека й інші фактори [17]. Це призводить до збільшення видатків на будівництво та обслуговування ОП і, як результат, до пошуку остаточного рішення серед

альтернативних місць розміщення з метою зменшення зазначених видатків. Тобто, має місце множина паретооптимальних альтернатив розміщення ОП.

Пошук оптимального місця розміщення можна здійснити з використанням функції суми віддалей $R_{x,y}$ від координат ОП до координат об'єктів - мети переміщення користувачів з урахуванням додаткових вагових коефіцієнтів на місця паркування [16]

$$R_{x,y} = \sum_{i=1}^n p_i \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2}, \quad (2.5)$$

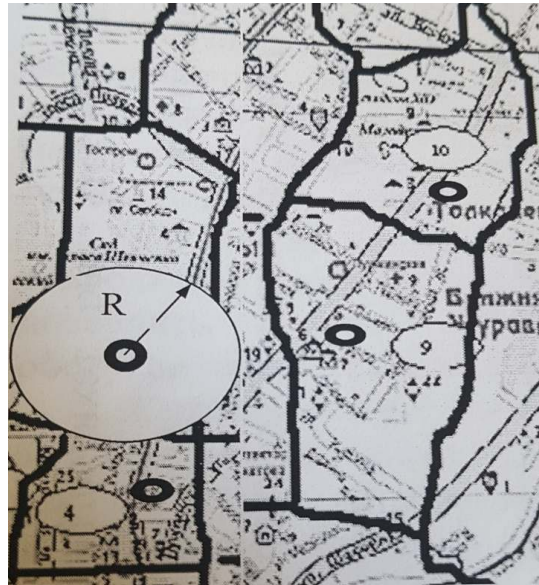
де p_i, x_i, y_i - відповідна величина вагових коефіцієнтів щодо попиту та координати i -го об'єкту мети переміщення потенціального користувача;

X, Y - координати ОП, встановлені за центрами ваги.

У моделях уточнення місця розташування ОП за функцією (2.5) серед варіантів розміщення ОП береться той, значення якого буде найменшим. Введення додаткових вагових коефіцієнтів (наприклад, що характеризують привабливість об'єкту за якістю обслуговування, важливість і терміновість поїздки користувача та ін.) супроводжується складністю їх визначення за певною точністю.

В якості вихідних даних для перевірки гіпотези про можливість використання названого критерію при встановленні раціонального місця розміщення ОП брались матеріали експериментальних досліджень, наведених в роботі [31]: мапа з розбивкою ЦДЧ міста на мікрорайони; дислокація місць об'єктів – мети переміщення користувачів; величина попиту на місця паркування; зазначені координати ОП кожного мікрорайону.

Для прикладу, розрахунок координат ОП і визначення радіусу пішохідної дистанції за пропонованою методикою, був виконаний для мікрорайонів за номерами 4, 9 і 10. Аналіз проводився шляхом порівняння значень отриманих і наведених у названих вище роботах координат. Схеми розміщення ОП наведені на рис. 2.1.



- місце розташування ОП до уточнення;



- місце розташування ОП рекомендоване;

R - радіус пішохідної доступності.

Рисунок 2.1 – Схема мікрорайонів ЦДЧ міста

Порівняння значень пішохідної дистанції, визначених в роботі та за запропонованою методикою, показало, що при охопленні понад 90 % користувачів об'єктів можливе зменшення радіусу на 204 м для ОП №4, на 183 м для ОП №9 і на 42 м для ОП №10.

Для визначення величин додаткових вагових коефіцієнтів щодо попиту на місця паркування проведено анкетування потенційних респондентів різного віку, які користуються автотранспортом для власних поїздок до відповідних об'єктів. Врахування визначеного попиту дозволяє адаптувати режим паркування автотранспорту до найбільше ймовірних користувачів.

Відомі міжнародні рейтингові компанії, які проводять маркетингові дослідження (COMCON-2, GFK, Nielsen, інститут Геллапа) користуються поняттями випадкові і не випадкові вибірки. У розрахунку вагових коефіцієнтів використовувалась не випадкова вибірка, при якій адекватність отриманих результатів висока. Перелічені вище компанії використовують метод розрахунку

вибірки на основі встановлення помилки такої вибірки. Дослідники транспортного процесу вважають прийнятними результати, якщо величина помилки становить менше 5 %. У нашому випадку статистичний обсяг вибірки маркетингового дослідження визначений з величиною помилки менше 3 %, що відповідає бажаній точності та заданому рівню вірогідності. Анкетування проводились за умов, коли респондент мав достатньо розумінь за поставленою проблемою в області функціонування автомобільного транспорту.

Розрахунок суми віддалей переміщення користувачів від двох альтернативних ОП до необхідних за метою показав, що значення $R_{x,y}$, пропонованих місць розміщення менші для об'єкту №4 на 8,4 %, №9 на 32,6 % і №10 на 14,7 %.

Певний недолік досліджень становить неповна визначеність вибірки серед користувачів об'єктів стосовно розміру та складу, оскільки надто складна процедура отримання інформації від жителів даного населеного пункту і прибулих з інших, щоб охопити всіх учасників поїздки.

Необхідно додати, що із-за ряду факторів на практиці може виникнути ситуація, коли достатньо велика кількість користувачів не буде охоплена територією визначеного радіусом обслуговування даного ОП даного мікрорайону. У такому випадку необхідно переглянути підхід до способу мікрорайонування ЦДЧ міст і провести повторно всі розрахунки.

Результати дослідження дозволяють підтверджувати можливість встановлення місця розташування ОП (паркінгів) у ЦДЧ міст із використанням критерію “центр ваги” і наступною оптимізацією координат за критерієм “суми віддалей переміщення користувачів”. Визначене таким способом місце розташування ОП знаходиться найближче до вагової (більшої) частини користувачів і дозволить суттєво зменшити для них пішохідну дистанцію при обслуговуванні автомобілів. Суттєве зменшення пішохідної дистанції дає певну гарантію залучення більшості користувачів до паркування автомобілів у пропонованому об'єкті мікрорайону і, як наслідок, можливість покращити економічні показники його функціонування.

3 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

Збирання інформації щодо поточного стану транспортних потоків на вулично-дорожній мережі (ВДМ) є необхідним етапом для створення будь-якого проекту реконструкції ВДМ з метою удосконалення організації дорожнього руху. Тому питання наявності зручних та достатньо точних методів обстеження параметрів транспортних потоків є актуальним. Розвиток сучасної електроніки і космічних технологій, зокрема, дає інженерам та науковцям нові інструменти для вивчення процесу руху транспортних потоків та отримання значень їхніх параметрів (інтенсивності, швидкості, складу та ін.). Одним з таких інструментів є глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС), а саме GPS [27], ГЛОНАСС [28], Galileo [29], Beidou [30] та інші. Ці системи дозволяють отримувати щосекунди у реальному часі значення поточних географічних координат (широти, довготи, висоти) та швидкості рухомих об'єктів, наприклад, транспортних засобів, за наявності в них приймачів ГНСС. Оскільки транспортні потоки складаються з окремих транспортних засобів, то можна припустити, що за допомогою ГНСС можна визначати деякі параметри транспортних потоків у цілому, а не лише відслідковувати рух окремих транспортних засобів.

Структура, склад та особливості функціонування самих ГНСС описані достатньо широко [27-30]. Система складається із наземних станцій, групи космічних апаратів (супутників на низьких навколоземних орбітах) та приймачів супутникових сигналів на об'єктах, для яких є потреба у визначенні координат. Супутники у постійному режимі транслюють радіосигнал у L-діапазоні, передаючи власні координати та службову інформацію. Сигнали супутників синхронізовані за допомогою атомного годинника, але оскільки відстані від супутників до конкретного приймача ГНСС різні, то виникають розбіжності затримок сигналу від різних супутників на антені приймача. На основі цих розбіжностей приймач розраховує так звані «псевдовідстані» (на затримку

сигналів впливає також поточний стан земної іоносфери на шляху проходження сигналу з кожного супутника, що створює додаткову затримку сигналу) до кожного із доступних йому у даний момент супутників, а маючи інформацію щодо поточного розташування супутників, розраховує власні координати. Для визначення широти до довготи достатньо сигналів від трьох супутників. Наявність сигналу від 4 чи більше супутників дозволяє також визначати висоту. Із подальшим зростанням кількості супутників збільшується точність розрахунку координат. Розрахунки проводяться щосекунди. Зазвичай приймач може також послідовно записувати визначені поточні координати та час розрахунків, створюючи т. зв. «трек» [31].

Для збільшення точності визначення координат можна використовувати локальні наземні сервіси [31] WAAS, EGNOS, MSAS та інші, які вивчають стан іоносфери у конкретному регіоні та надають інформацію для корекції іоносферних затримок.

Метою поточних досліджень є створення методики та рекомендацій щодо визначення деяких параметрів транспортних потоків із використанням доступних приймачів ГНСС та з урахуванням технічних обмежень та особливостей функціонування приймачів ГНСС та систем ГНСС у цілому.

Супутниковий моніторинг транспорту — система моніторингу рухомих об'єктів, побудована на основі систем супутникової навігації, обладнання та технологій стільникового та радіозв'язку, обчислювальної техніки і цифрових карт. Супутниковий моніторинг транспорту використовується для вирішення завдань транспортної логістики в системах управління перевезеннями і автоматизованих системах управління автопарком.

Принцип роботи полягає у відстеженні та аналізі просторових і часових координат транспортного засобу. Існує два варіанти моніторингу. Online — з дистанційним передаванням координатної інформації і offline — інформація зчитується після прибуття на диспетчерський пункт.

На транспортному засобі встановлюється мобільний модуль, що складається з наступних частин: приймач супутникових сигналів, модулі зберігання та передачі координатних даних. Програмне забезпечення мобільного

модуля отримує координатні дані від приймача сигналів, записує їх в модуль зберігання і по можливості передає за допомогою модуля передачі.

Модуль передачі дозволяє передавати дані, використовуючи бездротові мережі операторів мобільного зв'язку. Отримані дані аналізуються і видаються диспетчеру в текстовому вигляді або з використанням картографічної інформації.

У offline варіанті необхідність дистанційної передачі даних відсутня. Це дозволяє використовувати більш дешеві мобільні модулі і відмовитися від послуг операторів мобільного зв'язку.

Мобільний модуль може бути побудований на основі приймачів супутникового сигналу, що працюють в стандартах NAVSTAR GPS або ГЛОНАСС.

Системи супутникового моніторингу транспорту вирішують наступні завдання:

- моніторинг включає визначення координат місцезнаходження транспортного засобу, його напрямки, швидкості руху і інших параметрів: витрата палива, температура в рефрижераторі та ін. Системи супутникового моніторингу транспорту допомагають водієві в навігації при пересуванні в незнайомих районах;

- контроль дотримання графіка руху - облік пересування транспортних засобів, автоматичний облік доставки вантажів в задані точки і ін .;

- збір статистики і оптимізація маршрутів - аналіз пройдених маршрутів, швидкісного режиму, витрати палива та ін. транспортних засобів з метою визначення кращих маршрутів;

- забезпечення безпеки - можливість визначення місця розташування допомагає виявити викрадений автомобіль. У разі аварії система супутникового моніторингу допомагає передати сигнал про лихо в служби порятунку. Також на основі супутникового моніторингу транспорту діють деякі системи автосигналізації.

Системи відстеження транспортних засобів зазвичай використовуються для функцій управління автопарком, таких як відстеження транспортних засобів,

маршрутизація, диспетчеризація, бортова інформація та безпека. Деякі системи відстеження транспортних засобів комплектуються програмним забезпеченням для управління автопарком або взаємодіють з ним. Поряд з операторами комерційного парку, міські транспортні агенції використовують цю технологію для ряду цілей, включаючи моніторинг дотримання графіку руху автобусів в експлуатації, викликаючи автоматичні зміни знаків призначення автобусів, коли транспортний засіб наближається до кінця автобуса (або іншого встановленого місця вздовж маршруту автобуса, такий як конкретна автобусна зупинка по маршруту), і спрацьовує попередньо записані (або навіть синтетичні мови) автобусні зупинки, маршрут (та його місце призначення) або службові повідомлення для пасажирів.

Американська асоціація громадського транспорту підрахувала, що на початку 2009 року близько половини всіх автобусів в США вже використовували систему відстеження автомобілів на основі GPS, щоб запустити автоматизовані повідомлення про зупинку. [32] Це може посилатися на зовнішні повідомлення (спричинені відкриттям дверей автобуса) на зупинці, оголошення номеру маршруту та місця призначення транспортного засобу, насамперед для вигоди клієнтів із вадами зору, або внутрішніх повідомлень (для пасажирів, які вже на борту). наступна зупинка, коли автобус (або трамвай) наближається до зупинки, або обидва; останні часто також відображаються на внутрішньому світлодіодному дисплеї або моніторі, підключеному до системи, поки гучномовці відтворюють їх. Дані, зібрані як транзитний транспортний засіб за його маршрутом, часто безперервно подаються в комп'ютерну програму, яка порівнює фактичне місце розташування та час транспортного засобу з його графіком, а в свою чергу виробляє водій, що часто оновлюється, повідомляє йому, як рано чи пізно він / вона є в будь-який момент часу, що потенційно полегшує більш чітке дотримання опублікованого розкладу.

Такі програми також використовуються для надання клієнтам інформації в режимі реального часу щодо часу очікування до прибуття наступного автобуса або трамвая / трамваю на даній зупинці, виходячи з фактичного прогресу найближчих транспортних засобів на той час, а не просто надання інформації

щодо запланованого часу наступного прибуття. [33, 34] Деякі фірми надають віртуальну карту на своєму веб-сайті з піктограмами із зображенням поточного розташування транспортних засобів, що обслуговуються на кожному маршруті, для інформації клієнтів [34], а інші надають таку інформацію лише диспетчерам або іншим працівникам.

Системи відстеження транспортних засобів також популярні в транспортних засобах як пристрій для запобігання крадіжок, контролю та вилучення. Поліція може просто слідкувати за сигналом, що випромінюється системою стеження, та знаходити викрадений транспортний засіб. Якщо використовується як система безпеки, система відстеження транспортних засобів може слугувати або доповненням або заміною традиційної сигналізації автомобіля. Деякі системи відстеження транспортних засобів дозволяють дистанційно керувати транспортним засобом, включаючи блокові двері або двигун у разі надзвичайних ситуацій. Наявність пристрою відстеження транспортних засобів потім може бути використане для зниження страхових витрат, оскільки ризик втрати транспортного засобу значно знижується.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКОНОМІЧНИХ ФАКТОРІВ НА РІВЕНЬ АВТОМОБІЛІЗАЦІЇ

Численні дослідні і проектні роботи в XIX столітті зі створення двигунів внутрішнього згоряння привели до появи малогабаритних, в порівнянні з паровими, силових установок і, як наслідок, створення транспортних засобів ними оснащених. У 1885 р. німецький інженер Карл Бенц побудував автомобіль «Motorwagen» і в 1886 р. отримав патент № 37435 на «Працюючий на бензині транспортний засіб з двигуном», який увійшов в історію як перший патент на автомобіль. У 1887 р. автомобіль був представлений на Паризькій виставці. Але крім похвальних відгуків фахівців, особливого резонансу серед широкої громадськості не набуло.

До отриманого К. Бенцом патенту прикладалася дозвіл про початок серійного виробництва автомобілів. Крім К. Бенца автомобілі стали виробляти також фірми «Daimler», «PanhardetLevassor», «DeDion-Bouton» та інші. Однак в XIX столітті особливого попиту вони не мали. До 1900 р. світовий автомобільний парк налічував 6000 автомобілів [32] (рис. 4.1).

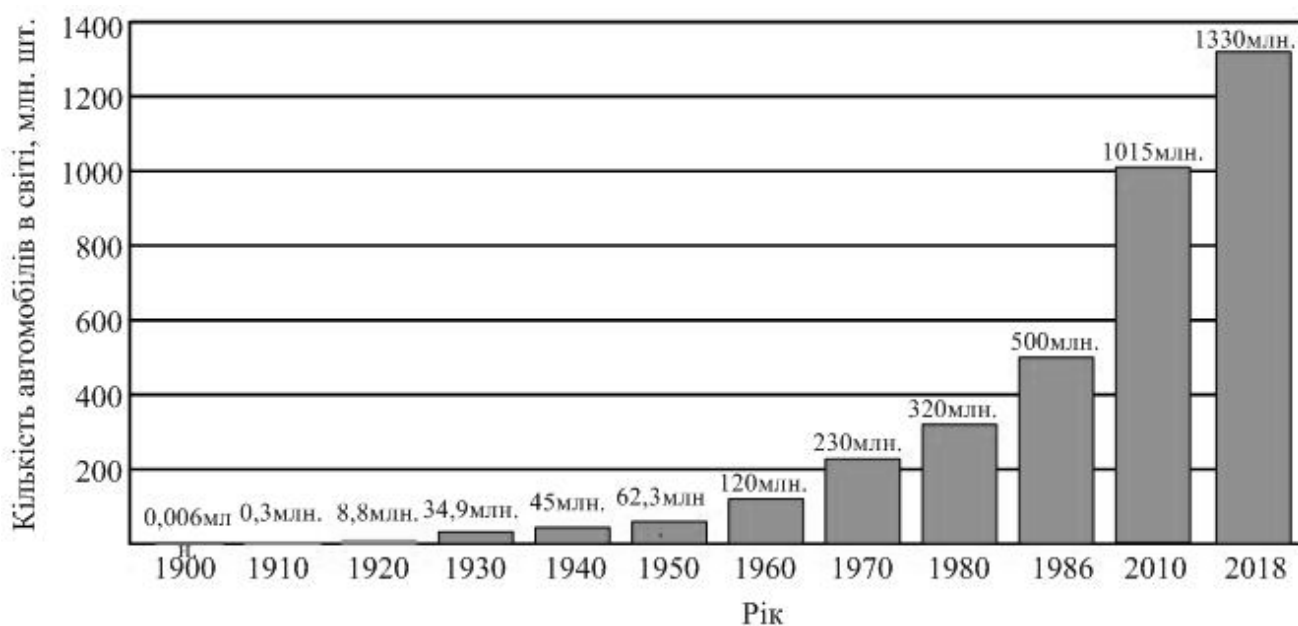


Рисунок 4.1 – Кількість автомобілів в світі по роках

Масове виробництво автомобілів почалося в XX столітті. Незважаючи на

те, що перші автомобілі, які рухаються за допомогою ДВС, з'явилися у Франції та Німеччині, саме в США автомобіль вперше став частиною повсякденного життя. Початок конвеєрного виробництва автомобілів Г. Фордом в 1914 р. поклало початок масового виробництва і зробило їх доступними товаром для більшості американців. Між 1909 і 1920 число зареєстрованих автомобілів в США збільшилася на 2750 %. У 1922 р. кожен другий автомобіль в США і кожен третій у всьому світі був марки «Форд Т».

Стрімко збільшується кількість автомобілів в світі (рис. 4.1): між 1950 і 1960 рр. їхня кількість перевищила 100 млн. шт., в 2010 році – перевалило за мільярд. В даний час світовий автомобільний парк налічує 1330 млн. од.

Рівень автомобілізації – це показник оснащеності легковими автомобілями населення країни, який розраховується як число індивідуальних легкових автомобілів на 1000 жителів. Під легковим автомобілем мається на увазі дорожній транспортний засіб (крім двоколісних транспортних засобів), призначене для перевезення пасажирів і багажу, місткістю від 2 до 9 осіб, включаючи водія. Розраховується за методикою Міжнародної дорожньої федерації (International Road Federation), заснованої на даних національної статистики та міжнародних організацій [33].

Середній світовий рівень автомобілізації становить в даний час приблизно 188 автомобілів на 1000 жителів. Однак, як свідчать дані таблиці, автомобілізація різних країн вкрай нерівномірна. У Сан-Марино рівень автомобілізації перевищує 1200 автомобілів на 1000 жителів, в США – 800 автомобілів на 1000 жителів, в більшості країн Європи – від 500 до 750 автомобілів на 1000 жителів. У той же час в цілому ряді країн Азії і Африки рівень автомобілізації становить 3 - 5 автомобілів на 1000 жителів. Так само дуже нерівномірним є розподіл рівня автомобілізації за регіонами світу, що пояснюється розбіжністю початку цього процесу в них. Умовно можна виділити три хвилі світової автомобілізації: 1910-1950 рр. автомобілізація Північної Америки (США, Канада) і Австралії; 1950-1975 рр. автомобілізація Європи; з 1975 і до теперішнього часу автомобілізація решти країн світу.

Рівень автомобілізації населення вважається одним з важливих показників

добробуту населення: чим вище рівень добробуту людей, тим більша ймовірність придбання ними автомобілів. Тому надані також дані про рівень валового внутрішнього доходу (ВВП на одну особу населення в доларах США) за даними [34]) і середньої заробітної плати (Середня ЗП в доларах США) за даними [35]) у відповідних країнах. Ці дані теж суттєво відрізняються в різних країнах. Валовий внутрішній дохід в Норвегії на одну особу становить 82330 доларів США, в Швейцарії – 81230 доларів, тоді як в Бурунді – 280 доларів, в Малаві – 320. Так само відрізняється і рівень заробітної плати: В Швейцарії вона становить 5426 доларів США, в Катарі – 3372 долари, в Австралії – 3306 доларів, в той же час в Зімбабве вона дорівнює 21 долар, в Малаві – 22. Поле розподілу рівня автомобілізації країн світу від розміру валового внутрішнього продукту на одну особу і середньої заробітної плати показана на рис. 4.2 та 4.3.

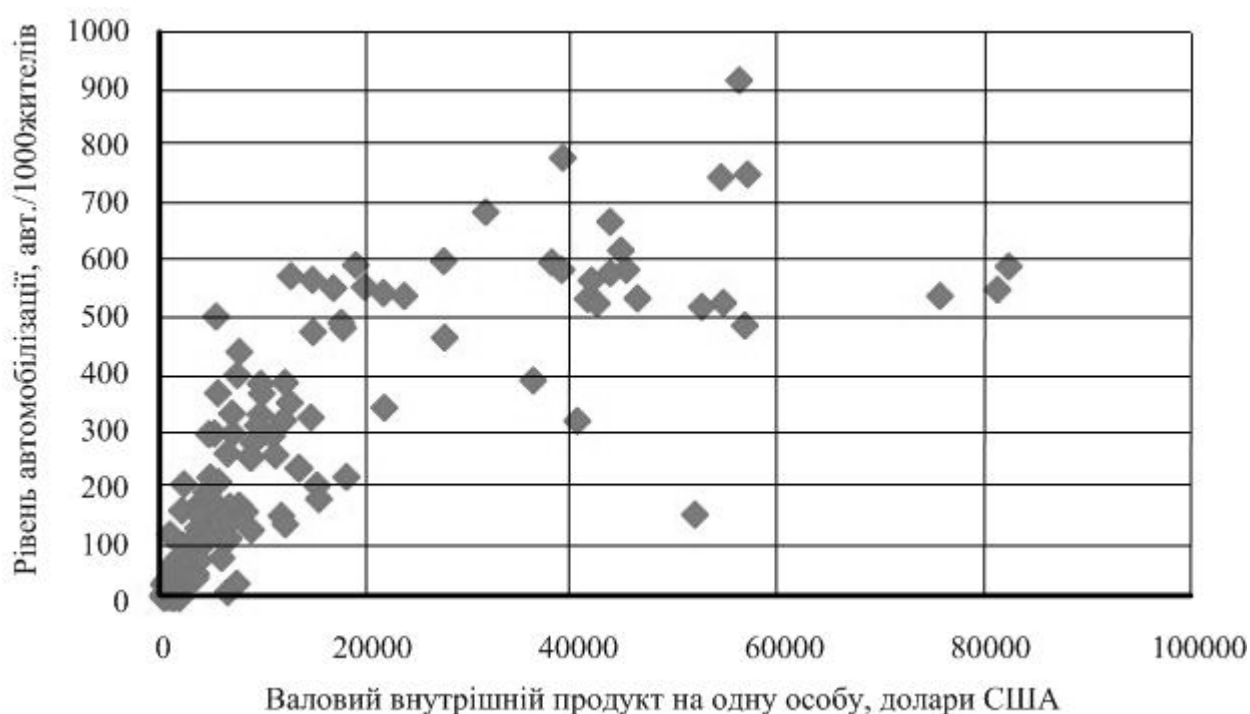


Рисунок 4.2 – Розподіл рівня автомобілізації країн світу від валового внутрішнього продукту на одну особу

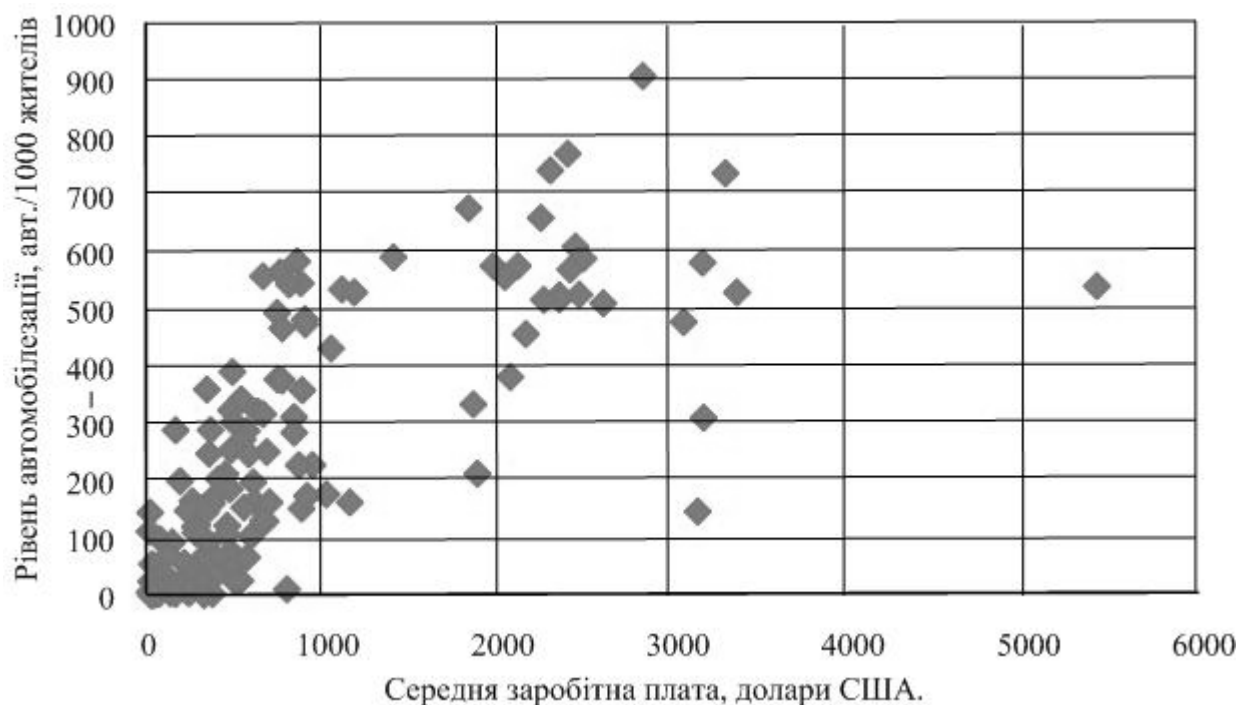


Рисунок 4.3 – Розподіл рівня автомобілізації країн світу від середньої заробітної плати

Велика кількість країн, суттєва розбіжність в рівні автомобілізації, ВВП і заробітної плати в них не дозволяють робити певних висновків, крім одного - зі збільшенням розміру ВВП на одну особу та середньої заробітної плати рівень автомобілізації збільшується. Тому подальший аналіз будемо виконувати за наступних умов і обмежень.

Аналіз будемо провадити групуючи країни по регіонам світу, а саме:

- Європа;
- Азія і Океанія;
- Близький схід;
- Африка;
- Північна, Центральна Америка і Карибський басейн;
- Південна Америка.

Не будемо враховувати країни з населенням, меншим, ніж 1 млн. жителів, а також країни з рівнем автомобілізації, меншим, ніж 50 автомобілів на 1000 жителів.

Розподіл рівня автомобілізації Європейського регіону від розміру валового внутрішнього продукту на одну особу і середньої заробітної плати показана на рис. 4.4 та 4.5.

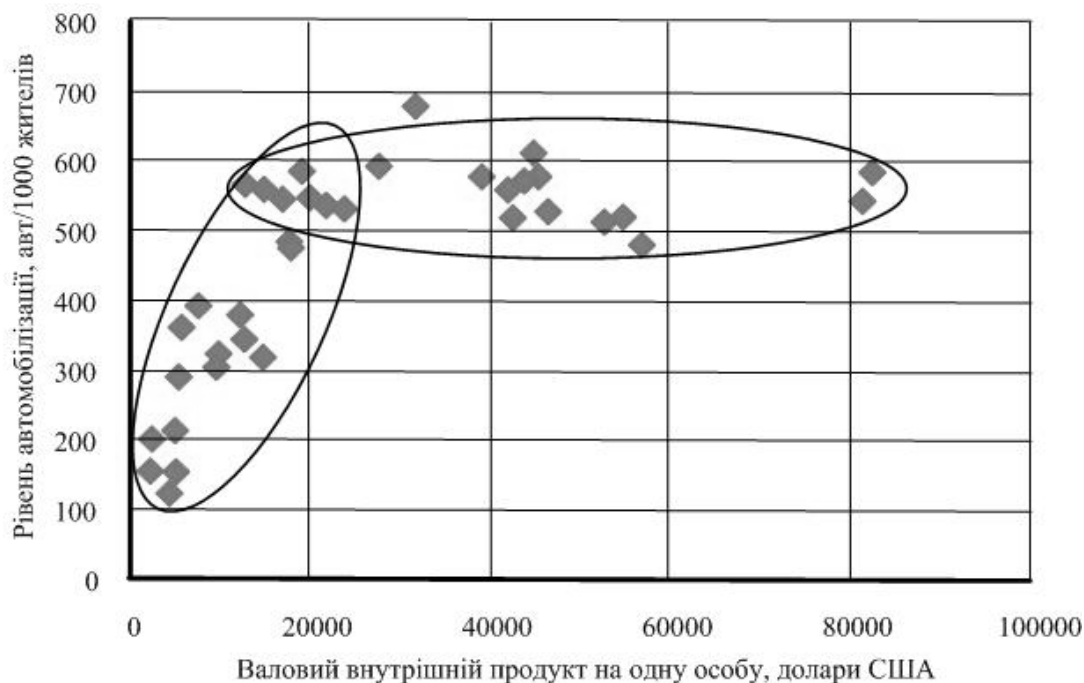


Рисунок 4.4 – Розподіл рівня автомобілізації країн Європейського регіону від валового внутрішнього продукту на одну особу

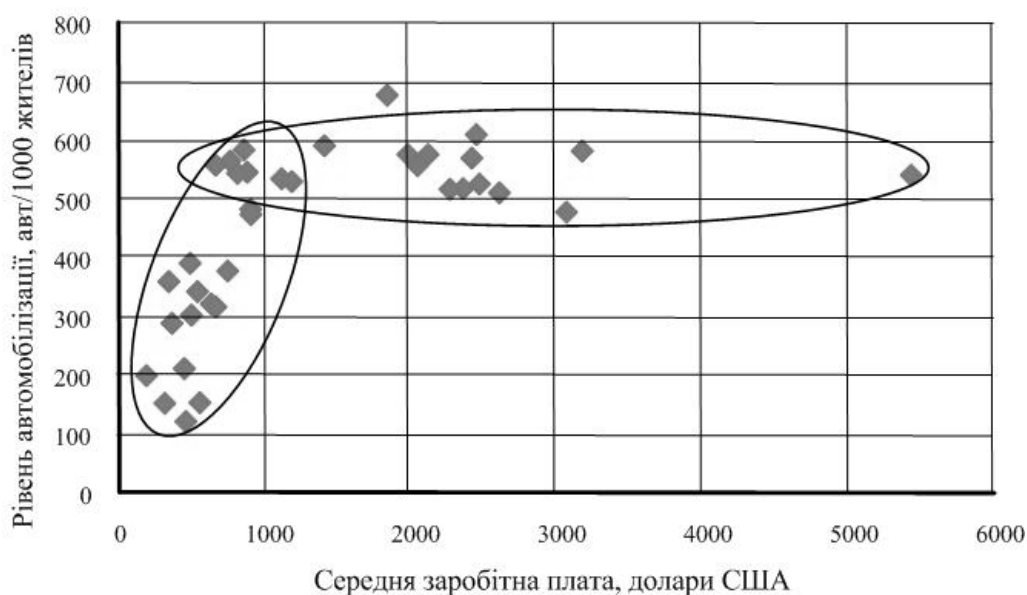


Рисунок 4.5 – Розподіл рівня автомобілізації країн Європейського регіону від середньої заробітної плати

За рівнем автомобілізації країн Європейського регіону можна виділити дві зони: зону росту в країнах «наздогоняючого» розвитку, з валовим внутрішнім продуктом на одну особу до 20000 долл. і середньою заробітною платою до 1000 долл. і зону насичення – в країнах, де валовий внутрішній продукт і середня заробітна плата перевищує ці значення. В економічно розвинених країнах Європи, незалежно від величини валового внутрішнього продукту і середньої заробітної плати рівень автомобілізації становить від 500 до 600 авт./1000 жителів. Виняток становить Італія, де на 1000 жителів припадає 679 автомобілів.

Стабілізація рівня автомобілізації в розвинених країнах Європи відбувається в результаті цілеспрямованої роботи по гуманізації суспільного простору [36], особливо в містах. На це направлено розвиток громадського транспорту, розвиток альтернативних видів транспорту - велосипедного, як педального, так і з електричним приводом і створення необхідної для цього інфраструктурою. Велика увага приділяється створенню пішохідних вулиць і пішохідних зон. За проїзд в центральні райони міст стягується плата, або взагалі в'їзд забороняється, плата за паркування в цих районах набагато перевищує плату в інших районах, тощо

Залежність рівня автомобілізації A Європейських країн «наздогоняючого» розвитку від величини валового внутрішнього продукту на одну особу V_{Π} і середньої заробітної плати $З_{\Pi}$ представлені на рис. 4.6 і 4.7 відповідно. Аналіз показує, що досить адекватним вибором в якості апроксимуючої моделі в даному випадку є лінійна.

Залежність $A = f(V_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 0,0223 \cdot V_{\Pi} + 128,7 \quad (4.1)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,86$ ($R^2=0,75$).

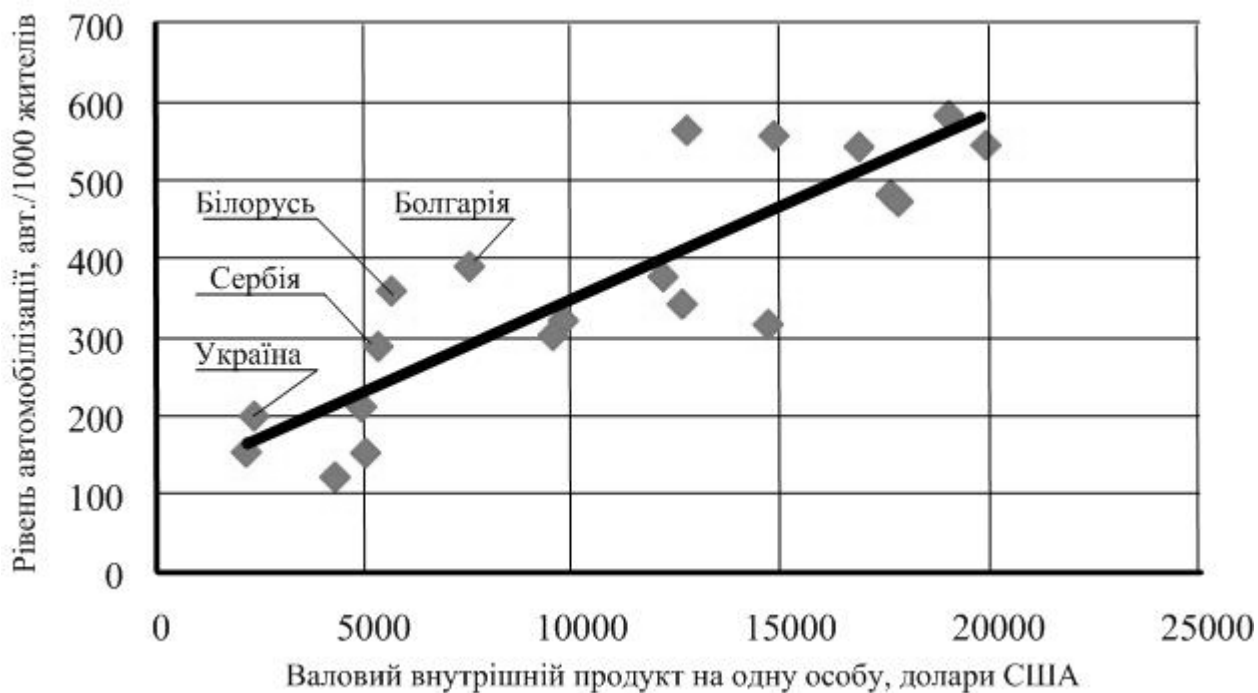


Рисунок 4.6 – Залежність рівня автомобілізації Європейських країн «наздогоняючого» розвитку від валового внутрішнього продукту на одну особу

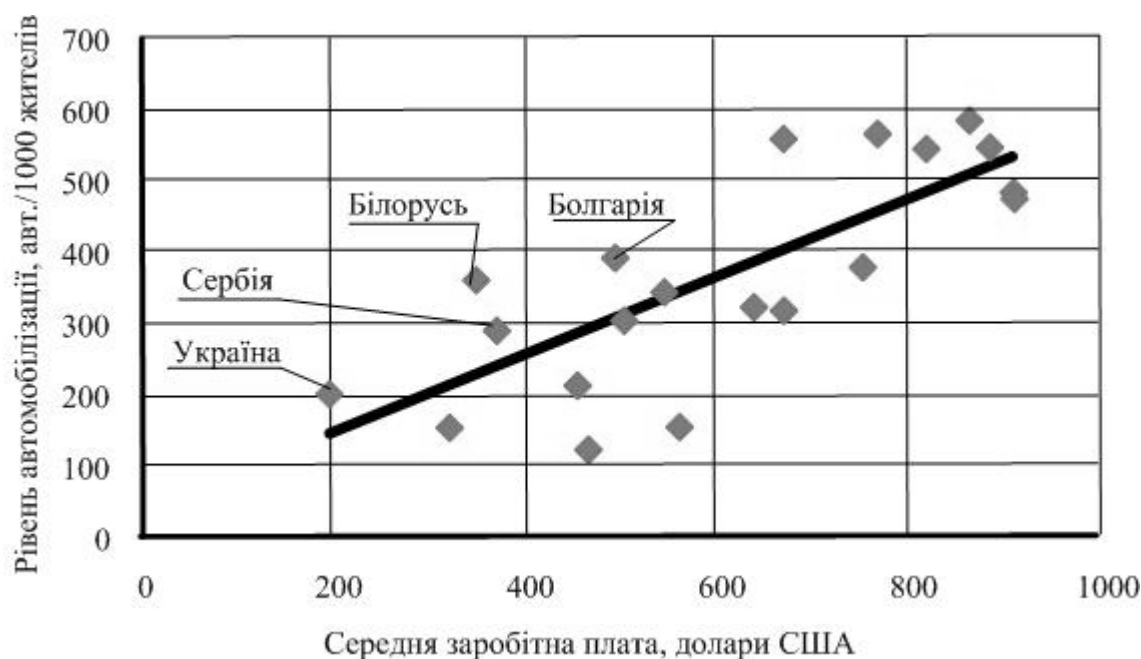


Рисунок 4.7 – Залежність рівня автомобілізації Європейських країн «наздогоняючого» розвитку від середньої заробітної плати

Залежність $A = f(Z_p)$ описується рівнянням

$$A = 0,544 \cdot Z_{\Pi} + 37,24 \quad (4.2)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,77$ ($R^2=0,6$).

Отримані коефіцієнти кореляції регресії $R = 0,86$ і $R=0,77$ та коефіцієнти детермінації $R^2 = 0,75$ і $R^2=0,6$ показують, що параметри мають високу кореляцію за шкалою Чеддока.

Автомобілізація країни передбачає не тільки наявність автомобільного парку, а й відповідної інфраструктури: якісних доріг, організації дорожнього руху, контролю за рухом та ін. Все це можливе при достатньому рівні фінансування. Іншими словами, має бути відповідність між величиною автомобільного парку і транспортною інфраструктурою. Якщо допустити, що це відповідність визначається лінією тренду $A = f(B_{\Pi})$, в країнах, які розташовуються над нею, кількість автомобілів перевищує можливе, при якому забезпечується якісне і безпечне функціонування системи. В Україні цей баланс не забезпечується.

Звертає на себе увагу, що при самій низькій заробітній платі в Європі, кількість автомобілів на душу населення в Україні більше, ніж в деяких країнах з більш високими зарплатами.

Причини такої невідповідності, на мою думку, наступні.

По-перше, високий рівень корупції в Україні. За даними дослідження показника поширеності корупції в державному секторі [37], розрахованому за методикою міжнародної неурядової організації Transparency International, індекс сприйняття корупції (The Corruption Perceptions Index) в Україні становить 32, і вона займає 120 рейтинг серед країн світу. Високий рівень корупції і в інших країнах Європи що розвиваються, кількість автомобілів в яких перевищує лінію тренда – Сербії (індекс 39, рейтинг 87), Болгарії (індекс 42, рейтинг 77), Білорусії (індекс 44, рейтинг 70), що підтверджує припущення.

По-друге, велика кількість українців, що працюють за межами України. За даними Світового банку майже 5 млн. українських заробітчан в 2018 році перерахували в Україну 14 млрд. доларів США. Частка грошей, які заробляють

українці за межами країни витрачається на купівлю автомобілів.

За даними Центру економічної стратегії України майже 30 % зайнятого населення в Україні крім офіційної (як правило, мінімальної) додатково отримують заробітну плату «в конвертах» [37]. Відповідно, держава недотримує податки на доходи фізичних осіб, як в центральний, так і місцеві бюджети.

За даними Міністерства економічного розвитку України в 2018 р. рівень тіньової економіки в Україні склав 30 % від ВВП [8]. При цьому підкреслюється, що це найнижчий рівень за останні 11 років, протягом яких він досягав майже 45 %.

Вирішення цих питань на державному рівні дозволило б наповнити бюджет України, виділити додаткові гроші на вдосконалення транспортної інфраструктури і привести її у відповідність з кількістю транспорту в країні.

Залежність рівня автомобілізації країн Азії і Океанії від розміру валового внутрішнього продукту на одну особу і середньої заробітної плати показана на рис. 4.8 та 4.9.

Результати моделювання залежності рівня автомобілізації A від величини внутрішнього валового продукту на одну особу V_{Π} і середньої заробітної плати $З_{\Pi}$ показують, що достатньо адекватною моделлю в даному випадку є поліноміальна.

Залежність $A = f(V_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 26,93 + 0,0248 \cdot V_{\Pi} - 2 \cdot 10^{-7} \cdot V_{\Pi}^2 \quad (4.3)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,96$ ($R^2=0,93$)

Залежність $A = f(З_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 27,67 + 0,3 \cdot З_{\Pi} - 2 \cdot 10^{-5} \cdot З_{\Pi}^2 \quad (4.4)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,93$ ($R^2=0,86$).



Рисунок 4.8 – Залежність рівня автомобілізації країн Азії і Океанії від валового внутрішнього продукту на одну особу

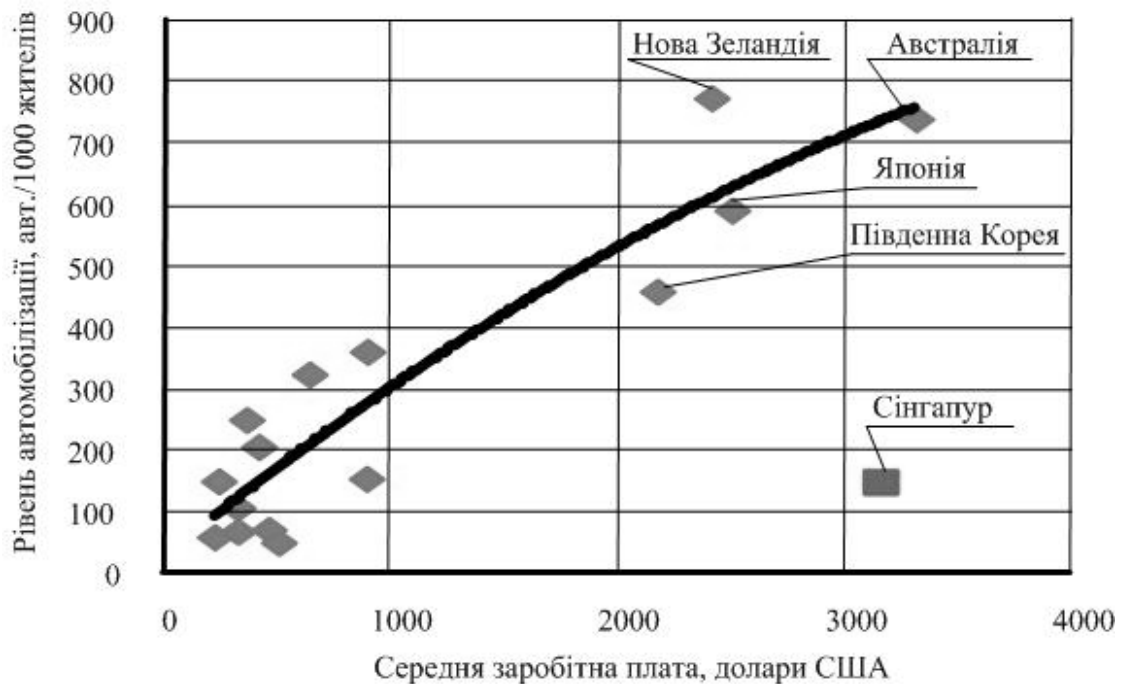


Рисунок 4.9 – Залежність рівня автомобілізації країн Азії і Океанії від середньої заробітної плати

Отримані коефіцієнти кореляції регресії та коефіцієнти детермінації

моделей (4.3) і (4.4) показують, що параметри мають вельми високу кореляцію.

Найбільший рівень автомобілізації в цьому регіоні спостерігається у Новій Зеландії і Австралії, де цей показник перевищує значення автомобілізації економічно розвинутих країн Європи. В Японії і Південній Кореї він дорівнює показникам в цих країнах. В країнах, де валовий внутрішній продукт на одну особу не перевищує 10000 долл., а середня заробітна плата – 1000 долл., рівень автомобілізації такий самий, як і в країнах «наздоганяючого» розвитку Європи.

Особливу увагу в цьому регіоні привертає Республіка Сінгапур. При рівні валового внутрішнього доходу на оду особу більше 50000 долл. і середньої заробітної плати більше 3000 долл. кількість автомобілів на 1000 жителів дорівнює всього 150 одиниць.

Пояснюється це тим, що уряд Сінгапуру, з метою усунення негативних наслідків автомобілізації, цілеспрямовано вводять обмеження її зростання [9], з одночасним розвитком громадського транспорту. В даний час в країні діють три основних інструменти таких обмежень:

- ERP – це платний проїзд по вулицях. Система діє з 1970-их років, як дієвий інструмент боротьби з пробками. Вона пройшла шлях від паперових абонементів з ручною перевіркою на постах до цифрового дистанційного зчитування. Ціна за проїзд змінюється в залежності від завантаження вулиць в конкретному районі і типу транспорту;

- COE – обмеження на покупку автомобіля в Сінгапурі. Ліцензія на покупку автомобіля була введена Департаментом транспорту (Land Transportation Authority) в 1990-му році у відповідь на різке збільшення кількості машин. Ліцензії розігрують на аукціоні, а сам документ видається на конкретний автомобіль на 10 років. Перепродаж ліцензії заборонена, так само як заборонена перереєстрація автомобіля на іншого власника, у якого немає власної ліцензії;

- GLIDE – це інтелектуальна транспортна система. На підставі аналізу даних датчиків руху, встановлених на елементах транспортної мережі, комп'ютер приймає рішення про оптимізацію організації руху на рівні перехрестя, району і всього міста. Система дозволяє втручання в роботу

людини.

Залежність рівня автомобілізації країн Північної та Центральної Америки і Карибського басейну від розміру валового внутрішнього продукту на одну особу і середньої заробітної плати показана на рис. 4.10 та 4.11.

Результати моделювання залежності рівня автомобілізації A від величини внутрішнього валового продукту на одну особу V_{Π} і середньої заробітної плати $З_{\Pi}$ показують, що достатньо адекватною моделлю в даному випадку є лінійна.

Залежність $A = f(V_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 0,0133 \cdot V_{\Pi} + 73,33 \quad (4.5)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,975$ ($R^2=0,951$).

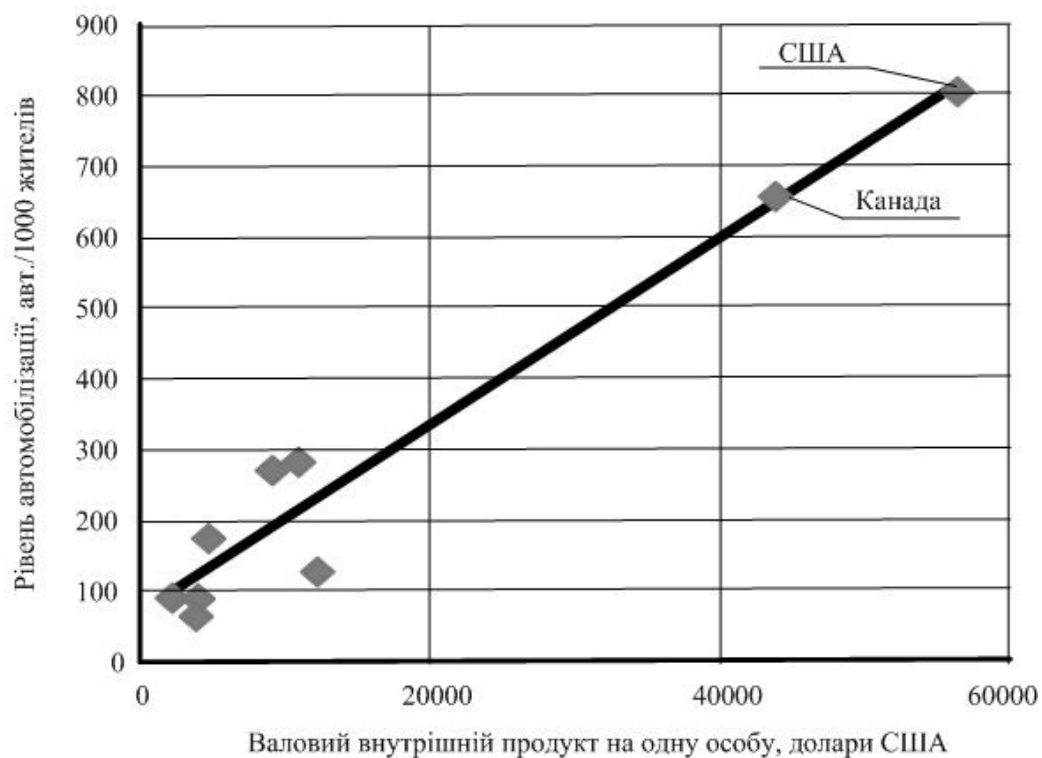


Рисунок 4.10 – Залежність рівня автомобілізації країн Північної та Центральної Америки і Карибського басейну від ВВП на одну особу

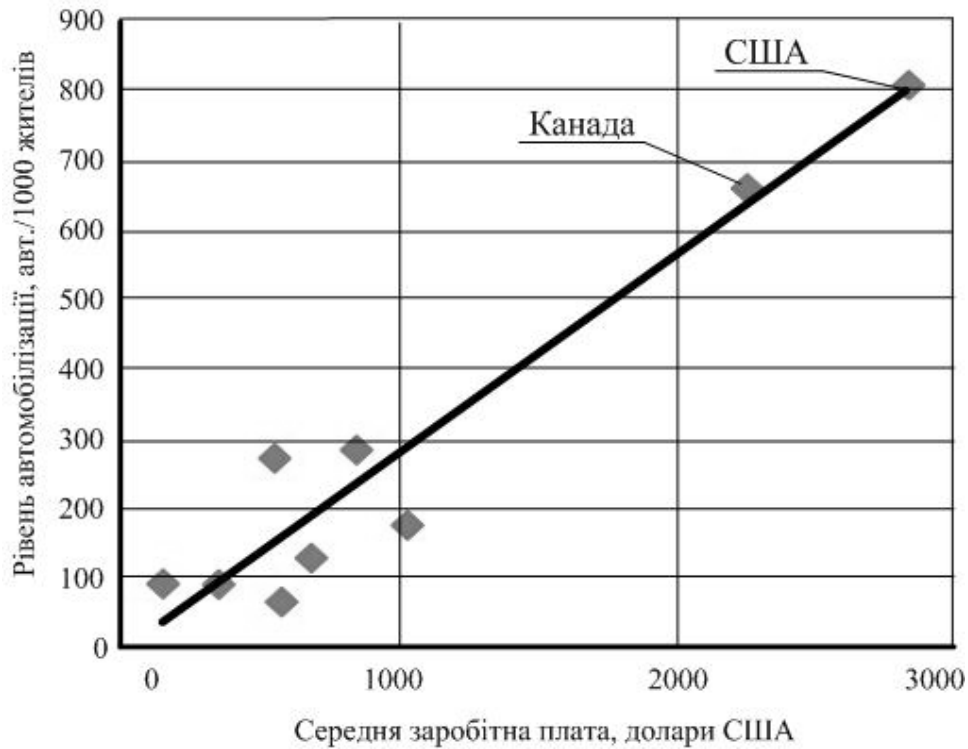


Рисунок 4.11 – Залежність рівня автомобілізації країн Північної та Центральної Америки і Карибського басейну від середньої заробітної плати

Залежність $A = f(Z_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 0,283 \cdot Z_{\Pi} - 2,41 \quad (4.6)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,96$ ($R^2=0,92$).

Отримані коефіцієнти кореляції регресії та коефіцієнти детермінації моделей (4.5) і (4.6) показують, що параметри мають вельми високу кореляцію.

В цьому регіоні лише США і Канада насичені автомобілями. США були піонерами автомобілізації, і в даний час кількість автомобілів на душу населення там перевищує 800 шт. У Канаді їх кількість приблизно така ж, як в Італії. В інших країнах регіону, де валовий внутрішній продукт на одну особу не перевищує 15000 долл., а середня заробітна плата 1000 долл. кількість автомобілів на 1000 жителів менше 300. Залежність рівня автомобілізації країн Близького Сходу від розміру валового внутрішнього продукту на одну особу і середньої заробітної плати показана на рис. 4.12 та 4.13.

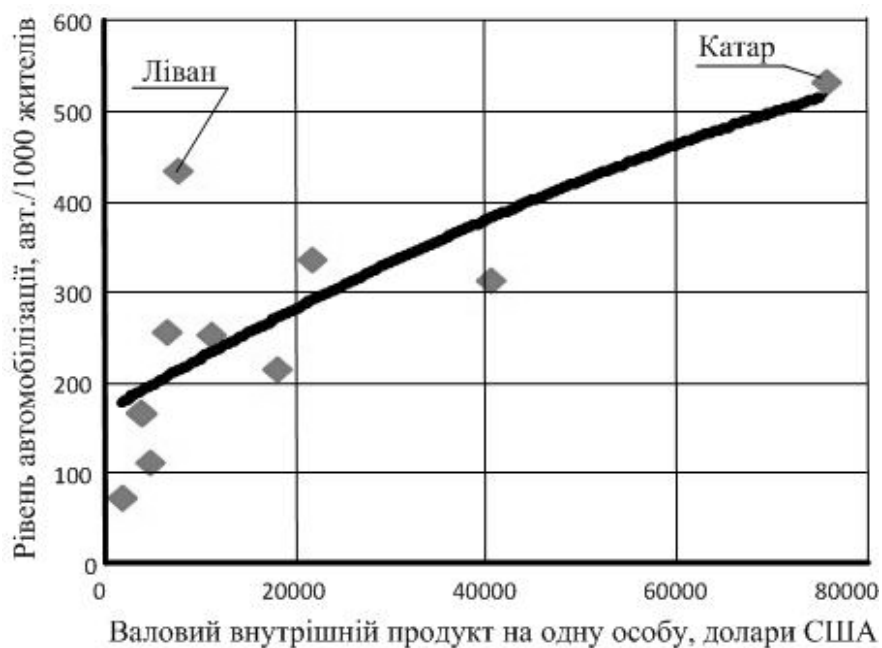


Рисунок 4.12 – Залежність рівня автомобілізації країн Близького Сходу від валового внутрішнього продукту на одну особу

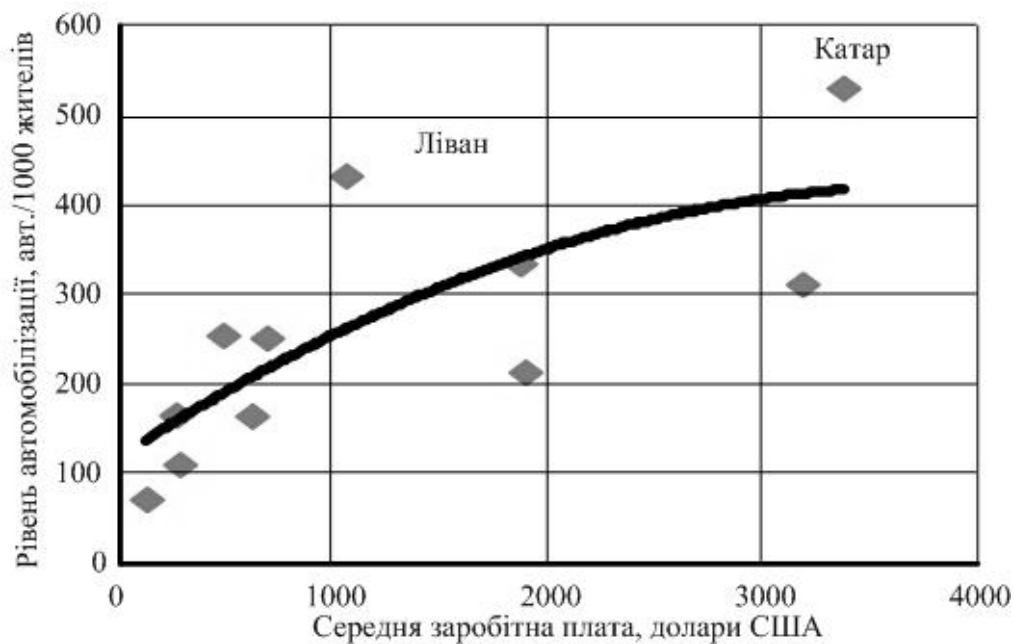


Рисунок 4.13 – Залежність рівня автомобілізації країн Близького Сходу від середньої заробітної плати

Результати моделювання залежності рівня автомобілізації A від величини

внутрішнього валового продукту на одну особу V_{Π} і середньої заробітної плати $З_{\Pi}$ показують, що достатньо адекватною моделлю в даному випадку є поліноміальна.

Залежність $A = f(V_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 166,54 + 0,0061 \cdot V_{\Pi} - 2 \cdot 10^{-8} \cdot V_{\Pi}^2 \quad (4.7)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,75$ ($R^2=0,57$)

Залежність $A = f(З_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 150,42 + 0,0868 \cdot З_{\Pi} \quad (4.8)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,73$ ($R^2=0,54$)

Отримані коефіцієнти кореляції регресії та коефіцієнти детермінації моделей (4.7) і (4.8) показують, що параметри мають високу кореляцію.

Залежність рівня автомобілізації країн Африки від розміру валового внутрішнього продукту на одну особу і середньої заробітної плати показана на рис. 4.14 та 4.15. У країнах Африки всього 9 країн мають рівень автомобілізації більше 50 автомобілів на 1000 жителів. Із них тільки в Лівії, при невисоких внутрішньому валовому доході і заробітної плати, кількість автомобілів на 1000 жителів перевищує 200 одиниць. Причиною цього може бути дуже високий рівень поширеності корупції в ній, яка займає за цим показником 170 місце серед 180 країн світу [6].

Якщо не враховувати Лівію, залежність $A = f(V_{\Pi})$ в інших країнах регіону поліноміальна і описується рівнянням

$$A = 67,51 + 0,0129 \cdot V_{\Pi} - 4 \cdot 10^{-7} \cdot V_{\Pi}^2 \quad (4.9)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,75$ ($R^2=0,54$).

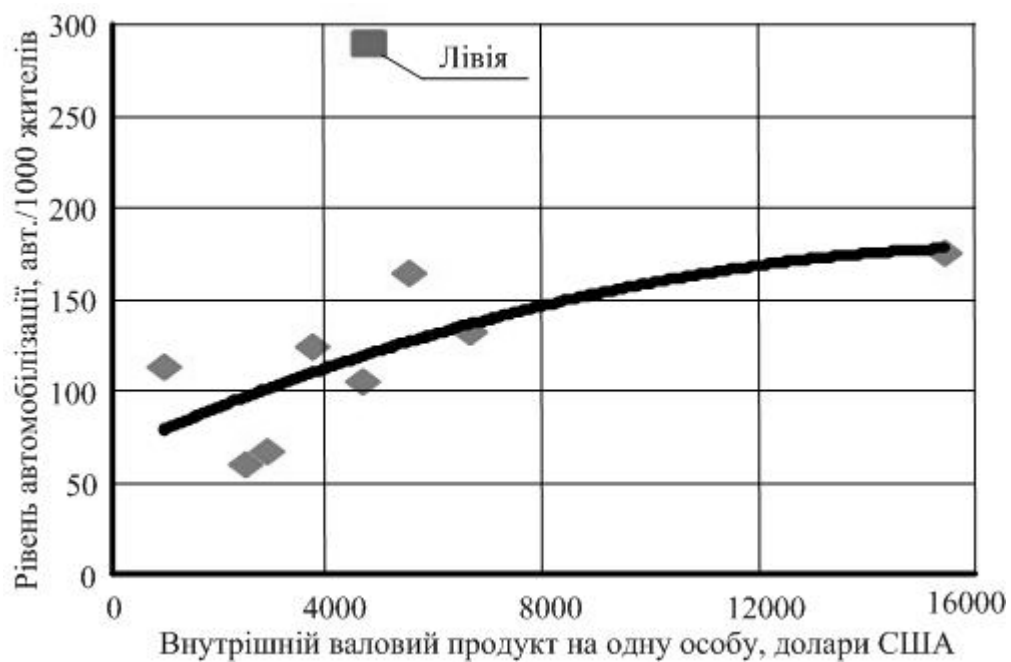


Рисунок 4.14 – Залежність рівня автомобілізації країн Африки від валового внутрішнього продукту на одну особу

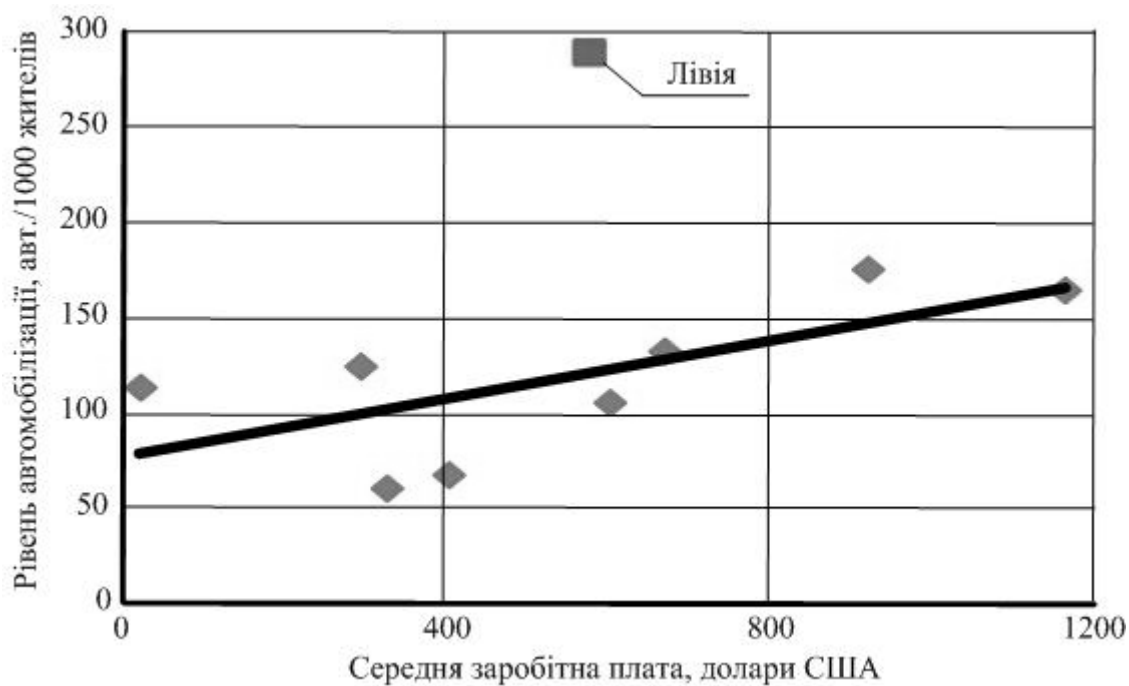


Рисунок 4.15– Залежність рівня автомобілізації країн Африки від середньої заробітної плати

Без урахування Лівії, залежність $A = f(Z_p)$ для країн Африки описується лінійним рівнянням

$$A = 0,076 \cdot Z_{\Pi} + 76,79 \quad (4.10)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,68$ ($R^2=0,465$).

Отримані коефіцієнти кореляції регресії та коефіцієнти детермінації моделей (4.9) і (4.10) показують, що параметри мають помітну та високу кореляцію відповідно.

Розподіл поля значень автомобілізації країн Південної Америки від розміру валового внутрішнього продукту на одну особу і середньої заробітної плати показана на рис. 4.16 та 4.17.

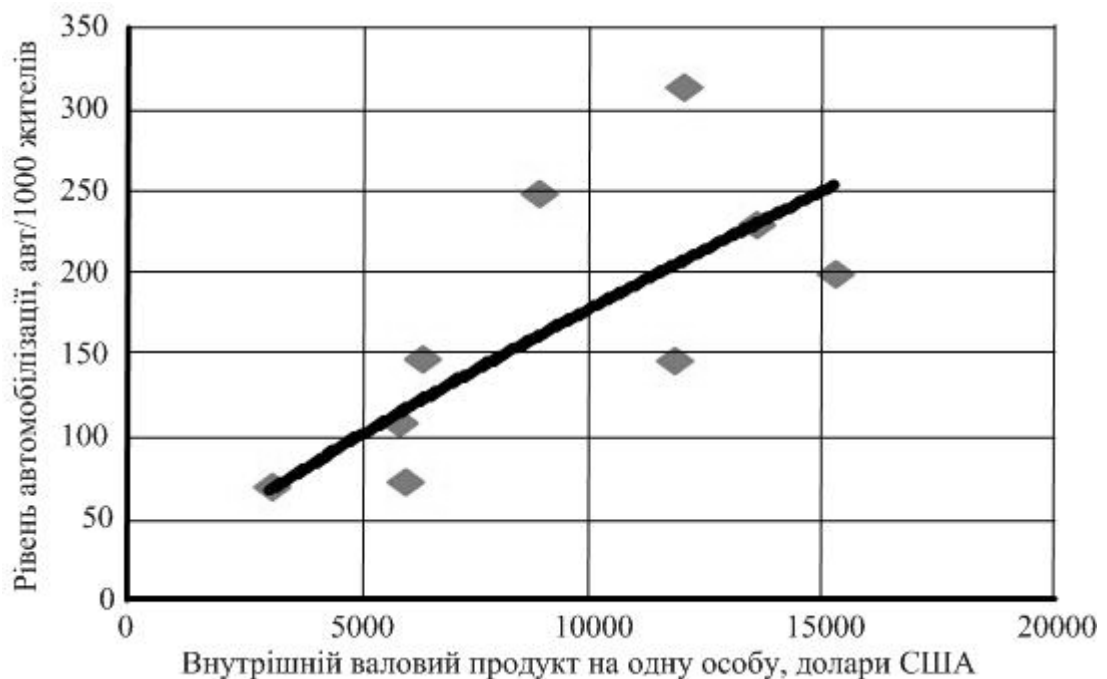


Рисунок 4.16 – Залежність рівня автомобілізації країн Південної Америки від валового внутрішнього продукту на одну особу

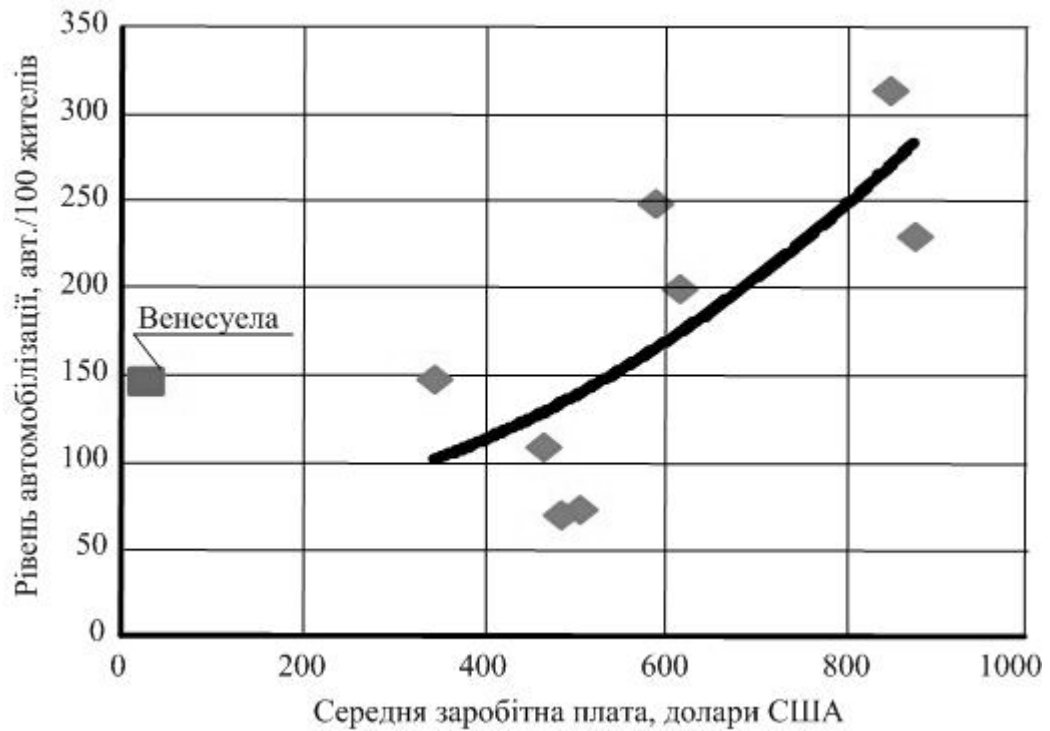


Рисунок 4.17– Залежність рівня автомобілізації країн Південної Америки від середньої заробітної плати

У регіоні Південної Америки також тільки 9 країн мають рівень автомобілізації більше 50 автомобілів на 1000 жителів. Результати моделювання залежності рівня автомобілізації A від величини внутрішнього валового продукту на одну особу V_{Π} показують, що достатньо адекватною моделлю в даному випадку є ступенева.

Залежність $A = f(V_{\Pi})$ описується рівнянням

$$A = 0,0868 \cdot V_{\Pi}^{0,83} \quad (4.11)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,81$ ($R^2=0,655$). Коефіцієнт кореляції регресії та коефіцієнт детермінації моделі показують, що параметри мають високу кореляцію.

Аналізуючи поле розподілу значень кількості автомобілів на 10000 жителів в залежності від середньої заробітної плати в регіоні Південної Америки, звертає на себе увагу, що в Венесуелі, при дуже низькій середню заробітну плату

24,6 долара на місяць, рівень автомобілізації вище, ніж в країнах де вона становить від 300 до 500 доларів. Цей парадокс також можна пояснити дуже високим рівнем корупції в країні. За рівнем її поширеності країна займає 168 місце серед 180 країн світу.

Якщо не приймати до уваги Венесуелу, залежність $A = f(Z_{\Pi})$ для інших країн регіону описується рівнянням

$$A = 0,0003 \cdot Z_{\Pi}^2 - 0,0008 \cdot Z_{\Pi} + 67,77 \quad (4.12)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R=0,75$ ($R^2=0,57$). Коефіцієнт кореляції регресії та коефіцієнт детермінації моделі показують, що параметри мають високу кореляцію.

Отже, за результатами досліджень, можна зробити наступні висновки.

В усіх країнах світу із збільшенням валового внутрішнього продукту і середньої заробітної плати кількість автомобілів на 1000 жителів зростає.

В країнах Європейського регіону з великим рівнем автомобілізації спостерігається насичення на рівні 500 – 600 автомобілів на 1000 жителів.

Деякі країни (Сінгапур, Китай) вводять примусові обмеження на придбання автомобілів.

В країнах з високим рівнем корупції (Лівія, Венесуела, Україна, Сербія, Болгарія, Білорусь та інші) рівень автомобілізації перевищує загальні тренди у відповідних регіонах.

5 РОЗПОДІЛ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА СМУГАХ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ

Розглянемо, як розповсюджується транспортний потік по автомагістралі з урахуванням взаємного впливу автомобілів, які рухаються, тобто розкриємо макроскопічне явище на основі мікроскопічного руху одиночних автомобілів.

Для цього скористаємося методикою [37] і врахуємо, що інтенсивність транспортного потоку N в загальному випадку не буде дорівнювати нулю, якщо розподіл інтервалів в потоці не дорівнює нулю або розподілені по автомагістралі транспортного коридору автомобілі не знаходяться в стані затору (конгестії).

Розглянемо рух транспортного потоку по смузі перегону автомагістралі протяжністю x між перетинами в різних рівнях. Врахуємо, що число автомобілів, які займають смугу руху за час Δt , дорівнює числу автомобілів, які розташовані на ділянці автомагістралі на відстані $V \cdot \Delta t$. Тому кількість автомобілів λ які рухаються по виділеній ділянці смуги між перетинами в різних рівнях дорівнюватиме щільності потоку Q на довжину $V \cdot \Delta t$.

$$\lambda = Q \cdot V \Delta t. \quad (5.1)$$

Інтенсивність транспортного потоку за час Δt дорівнює

$$N = \frac{Q V \Delta t}{\Delta t} = Q V. \quad (5.2)$$

Тепер визначимо довжину ділянки дороги $V \Delta t = \Delta x$. Для умов автомагістралей її можна прийняти рівній середній довжині вільного пробігу автомобілів без затримок при зміні смуги $\Delta x = l_{\text{ср}}$. [38].

Зміна щільності на одиничній ділянці дороги тоді буде:

$$\Delta Q = \frac{dQ}{dx} \Delta x = \frac{dQ}{dx} l_{\text{cp}}. \quad (5.3)$$

Підставивши (5.3) в (5.2) отримаємо

$$N = l_{\text{cp}} V \frac{dQ}{dx}, \quad (5.4)$$

де $\frac{dQ}{dx}$ – визначений як градієнт щільності (похідна щільності).

Звідки видно, що інтенсивність транспортного потоку пропорційна градієнту щільності (нерівномірній зміні щільності в просторі на одиницю довжини дороги).

Розділивши інтенсивність на градієнт щільності, отримаємо

$$\frac{N}{\frac{dQ}{dx}} = l_{\text{cp}} V = \beta. \quad (5.5)$$

Показник β характеризує якість «комфортного стану руху» автомобілів або нерівномірність розподілу транспортних засобів по смузі автомагістралі, тобто функціонування ділянки транспортного коридору між з'їздами у перетинів в різних рівнях. Одночасно він є об'єктивним критерієм кількісної оцінки якості організації дорожнього руху, як добуток середньої дальності пробігу без затримок у з'їздів на середню швидкість потоку. Чим β більше, тим вище якість організації дорожнього руху, оскільки збільшується дальність руху без гальмувань на вищій швидкості.

Для визначення показника функціонування дорожнього руху тепер необхідно визначити середню довжину вільного пробігу автомобілів без затримок l_{cp} .

Розглянемо особливості руху по автомагістралі. Нехай на автомагістралі знаходиться N_m автомобілів. Кожен автомобіль витрачає на рух по ділянці час

$T_{\text{ср}}$. Дане допущення вірне, якщо врахувати середню дальність розташування перетинів в різних рівнях. За час руху один автомобіль затримається n разів у з'їздів зі смуги на смугу автомагістралі. Середнє число затримок тоді дорівнюватиме :

$$n = T_{\text{ср}} / t_{\text{ср}}, \quad (5.6)$$

де $t_{\text{ср}}$ – середній час проїзду без затримки.

Вірогідність затримки i -го автомобіля за час dt буде

$$P = \frac{dt}{t_{\text{ср}}}. \quad (5.7)$$

Визначимо тепер скільки автомобілів з числа N_m затримається під час інтервалу dt .

N_m автомобілів, які рухаються по ділянці автомагістралі в інтервалі dt , отримують стільки ж затримок, скільки один автомобіль за час $N_m dt / t_{\text{ср}}$. Число затримок одного автомобіля за більший час $N_m dt$ дорівнює $N_m dt / t_{\text{ср}}$.

Якщо число затримок N_m автомобілів за dt дорівнює

$$n = Ndt / t_{\text{ср}}, \quad (5.8)$$

то вірогідність затримки для одного автомобіля дорівнює $P_3 = 1 / N_m$ частини цієї величини або

$$\frac{dt}{t_{\text{ср}}} = \left(\frac{1}{N} \right) \left(\frac{Ndt}{t_{\text{ср}}} \right). \quad (5.9)$$

Таким чином, визначимо відносну кількість автомобілів, які затрималися за час $dt = \frac{dt}{t_{\text{cp}}}$. (Якщо $t_{\text{cp}} = 1$ хв., за секунду затримається 1/60 частина автомобілів).

Нехай $N_m(t)$ кількість автомобілів, які не затрималися при зміні смуги на підході до з'їзду з автомагістралі. $N_m(t + dt)$ менше $N_m(t)$ на кількість автомобілів, які затрималися.

Враховуючи що $dN_m = N_m(t) \cdot dt / t_{\text{cp}}$, отримаємо

$$N_{i-j}(t + dt) = N_{i-j}(t) - N_{i-j}(t) \frac{dt}{t_{\text{cp}}}, \quad (5.10)$$

$N_m(t + dt)$ згідно правил диференціювання запишемо у вигляді $N_m(t) + (dN_m/dt)(dt)$, і тоді рівняння (5.1) приведемо до вигляду

$$\frac{dN_m(t)}{dt} = -\frac{N_m(t)}{t_{\text{cp}}}. \quad (5.11)$$

Кількість автомобілів, яка затрималися при зміні смуги, пропорційна кількості автомобілів і середньому часу руху без затримок t_{cp} .

Рівняння (5.11) перепишемо у вигляді:

$$\frac{dN_m(t)}{N_m(t)} = -\frac{dt}{t_{\text{cp}}}. \quad (5.12)$$

Проінтегруємо $\ln N_m(t) = -\frac{t}{t_{\text{cp}}} + \ln A$, або

$$N_m(t) = Ae^{-t/t_{cp}}, \quad (5.13)$$

де $A = N_0$ повна кількість автомобілів, тому що при $t = 0$ всі автомобілі чекають наступної затримки, тобто

$$N_m(t) = N_0 e^{-t/t_{cp}}. \quad (5.14)$$

Вірогідність, що автомобілі не затримуються дорівнює:

$$P(t) = \frac{N_m(t)}{N_0} = e^{-t/t_{cp}}. \quad (5.15)$$

Вірогідність того, що автомобіль не затримається за час t , дорівнює:

$$P_0 = (1 - P) = \exp\left(-\frac{t}{t_{cp}}\right), \quad (5.16)$$

де t_{cp} – середній час між затримками.

Вірогідність того, що автомобіль не затримається за час t_{cp} , дорівнює $e^{-1} = 0,37$, оскільки вірогідність ця починається з очевидної затримки при $t = 0$ і зменшиться у міру того, як t стає все більше і більше.

Середній час до наступної затримки згідно з [37, 39] дорівнює

$$\begin{aligned} \bar{t}_{cp} &= \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \frac{N_m(t)}{t_{cp}} dt \\ \bar{t}_{cp} &= \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \frac{N_0 e^{-t/t_{cp}}}{t_{cp}} dt = \frac{N_0}{N_0 t_{cp}} \int_0^{\infty} t e^{-t/t_{cp}} dt = \frac{t}{t_{cp}} e^{-t/t_{cp}} = \bar{t}_{cp}. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Середня довжина вільного руху без затримок:

$$l_{\text{cp}} = t_{\text{cp}} \cdot V, \quad (5.18)$$

де V – середня швидкість руху автомобілів (розраховано як корінь з середньоквадратичного значення).

Вірогідність того, що автомобіль затримається, пройшовши відстань dx дорівнює dx / l_{cp} . Оскільки вірогідність затримки за час dt дорівнює dt / t_{cp} , то вірогідність того, що автомобіль пройде відстань x до наступної затримки, дорівнює $e^{-x/l_{\text{cp}}}$.

Середня відстань, яку автомобіль проходить без затримки, залежить від кількості автомобілів на автомагістралі, від геометричних розмірів автомагістралей і перетинів в різних рівнях, від режиму організації руху на з'їздах і в'їздах, від зони впливу прилеглого міста.

Знаючи середню тривалість руху автомобіля без затримок і середню швидкість руху автомобілів по автомагістралі певного класу (швидкісної, безперервної, регульованої), можливо легко оцінити якість організації дорожнього руху.

Так, для швидкісної дороги $\beta = 1000\text{--}1500 \text{ км}^2/\text{год.}$; для магістралі з безперервним рухом $\beta = 800\text{--}1200 \text{ км}^2/\text{год.}$; для магістралі з регульованим рухом в системі АСУ-Д $\beta = 300\text{--}600 \text{ км}^2/\text{год.}$; з жорсткою регуляцією $\beta = 60\text{--}120 \text{ км}^2/\text{год.}$ [1].

Як критерій стійкості дорожнього руху, показник проїжджаємості β транспортного потоку є складовою частиною рівнянь руху у вигляді хвиль щільності, де їм враховується частка нерівномірного розподілу щільності, оскільки N транспортного потоку залежить як від щільності Q , так і від її

градієнта dQ/dx , що визначає зміну щільності на одиницю довжини ділянки дороги $N = N(Q) - \beta \frac{dQ}{dx}$.

Таким чином показник функціонування дорожнього руху або проїжджаємості β має триєдиний зміст:

По-перше, їм характеризується працездатність автомагістралі з урахуванням дальності поїздки водія і швидкості повідомлення при цій поїздки, де дальність поїздки залежить від компактності плану автомагістралі і виду вибраного транспорту, на якому здійснюється поїздка з відповідною швидкістю сполучення.

По-друге, описується рух потоку автомобілів з урахуванням їх затримок через певну відстань при зміні смуги руху і при нерівномірному розподілі автомобілів по ділянках доріг (5.6), (5.7).

По-третє, в рівняннях, що описують рух транспортного потоку у вигляді хвиль швидкості, показник β указує на комбіновану нерівномірність розподілу транспортного руху [37–39], коли швидкість хвилі потоку менше швидкості вільного руху, або на нестійкість руху, коли швидкість хвилі потоку перевищує швидкість вільного руху і водій не бачить умов руху досить далеко і тому не може встигнути зреагувати – можливо ДТП [40-52].

6 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА СТРАТЕГІЧНОМУ РІВНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

На стратегічному рівні управління системи управління дорожнім рухом (СУДР) формуються стратегії управління та керуючі принципи, що поширюються на довгострокові цілі і дії. Це взаємопов'язаний комплекс заходів й підходів для досягнення ефективності та безпеки дорожнього руху. Стратегія формується на генеральній програмі дій, що виявляє пріоритети проблем і ресурси для досягнення основної мети та відокремлює головні цілі та основні шляхи їх досягнення таким чином, щоб об'єкт управління отримував єдиний напрямок функціонування й розвитку [53].

Стратегію можна розглядати як основну сполучну ланку між тим, що необхідно досягти (її цілями) і лінією поведінки об'єкту управління, яку необхідно обрати для досягнення означених цілей (тактикою).

Термін «стратегічне управління» був введений в 1980-90 х рр. з метою визначення відмінності між поточним управлінням на рівні об'єкта управління і управлінням, що здійснюється на вищому рівні в центрі управління. Необхідність такої відмінності викликана переходом до нових моделей управління дорожнім рухом (ДР) в мінливому середовищі транспортної мережі у зв'язку із зростанням автомобілізації в великих містах.

Мета стратегічного управління полягає в поліпшенні реакції системи на динаміку і поведінку об'єкта.

І. Ансофф [54, 55] рекомендує розглядати стратегічне управління як систему, що складається з двох взаємодоповнюючих підсистем: аналізу і вибору стратегічної позиції та оперативного управління в реальному масштабі часу.

Раніше у дослідженні було виявлено, що система автоматизованого управління дорожнім рухом (САУДР) – це гібридна система управління ДР з центрально-розподіленим інтелектом, який реалізує наступні технології управління транспортними потоками (ТП), що були розглянуті у роботі раніше:

- технологія управління за фіксованими планами (координоване управління);

- технологія мережного адаптивного управління;

- технологія ситуаційного управління.

Розглянемо докладніше принципи їх реалізації. Сучасний стан управління ТП в більшості міст має ознаки функціонування пристроїв управління за фіксованим графіком у часі або за зміною стану ТП, тобто має місце тимчасово-залежне (автономне управління), коли управляючі дії визначаються на підставі статистичного аналізу параметрів ТП і транспортно-залежне в режимі поточного часу - online-управління (в англосаксонській літературі має назву Traffic Responsive [56]), що полягає у тому, що час втручання СУДР визначається за параметрами транспортної ситуації. Але це складно та дорого для реалізації на транспортній мережі міст.

Застосування транспортно-залежного управління здійснюється для забезпечення стабільності в транспортній мережі, але з певною затримкою у часі. На практиці це означає зміну програми управління в масштабі кількох десятків хвилин, що знижує її ефективність і виводить управління з режиму реального часу.

Суттєвою рисою транспортно-залежного управління є наявність макроскопічного управління, яке засновано на детерміністичному моделюванні ТП і алгоритмах оптимізації за просторово-часовим вектором даних про інтенсивність ТП за минулі періоди, а складні аналітичні залежності параметрів ТП неможливо реалізувати у складі СУДР.

Переваги часо-залежного управління (ЧЗУ) полягають у наступному:

- можливість реалізації контролю за параметрами ТП;

- доступність до модифікації сигнальних програм;

- відносно низькі витрати на обслуговування та установку.

До недоліків ЧЗУ можна віднести існуючі обмеження:

- не можна підвищити ефективність використання часу керуючих сигналів (дозвіл руху для окремих напрямків);

- необхідний певний резерв інтенсивності ТП на ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ);
- неможливість організації управління з боку автотранспортних засобів (АТЗ) та пішоходів;
- складність усунення виникаючих транспортних заторів.

У результаті надання опису підходів до управління ДР на стратегічному рівні підтверджується доцільність запропонованого вибору гібридного управління ДР у містах, який полягає у застосуванні інтелектуальних методів управління на рівні прийняття рішень, а на стратегічному – формування процесу управління ДР на підставі часо-залежного управління з усуненням виявлених недоліків. Отже, концептуальний підхід до розробки методів управління на стратегічному рівні полягає в послідовності розв'язуваних завдань управління ДР, які пов'язані між собою і спрямовані на досягнення єдиної мети – підвищення пропускної спроможності ВДМ для забезпечення ефективності та працездатності транспортної системи міста.

Визначено, що до завдань стратегічного управління, які необхідно вирішити, належать:

- проблеми підвищення ефективності використання часу сигналів світлофорів задля руху на перетинах ВДМ з метою зменшення транспортних затримок і забезпечення пропускної спроможності;
- визначення існуючого балансу між інтенсивністю ТП і пропускною спроможністю ВДМ, що формує певний резерв працездатності ВДМ та впливає на визначення типів управління ДР;
- попередження та усунення виникаючих транспортних заторів для забезпечення безпеки учасників ДР та оптимального часу руху ТП за маршрутами прямування, зниження екологічного навантаження у великих містах.

На підставі проведеного аналізу технологій та методів управління ДР пропонуємо проблему ефективності використання циклу світлофорного регулювання вирішити шляхом реалізації контурного управління на ВДМ міста; визначення необхідного балансу між інтенсивністю ТП та пропускною

спроможністю провести методами дослідження основної діаграми ТП для рівня прийняття рішень; розробкою заходів динамічного управління ТП усунути транспортні затори на ВДМ.

Саме рішення поставлених завдань управління ДР в містах формує запропоновану концепцію управління для стратегічного рівня у взаємозв'язку із тактичним рівнем та рівнем прийняття рішень.

Для визначення параметрів та функціональних зв'язків було проведено дослідження стратегічного рівня засобами системного аналізу [57].

Було відокремлено й розглянуто автомобільно-дорожню систему міста (АДСМ), що реалізує транспортний процес та є частиною транспортної системи міста. Загальна модель АДСМ дозволяє визначити об'єкт дослідження одночасно із наявністю суб'єкта і засобами реалізації цілей системи, що представлено на рис. 6.1 з метою виявлення параметрів, що характеризують елементи і зв'язки АДСМ, які впливають на ефективність транспортного процесу.

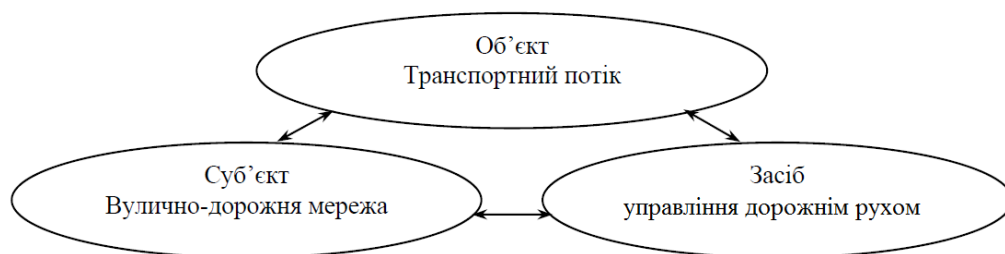


Рисунок 6.1 - Загальна модель АДСМ

Відповідно до вимог методології системного аналізу необхідно врахувати три основні аспекти, які визначають етапи при дослідженні системи [6]:

- структурний аналіз;
- параметричний аналіз;
- функціональний аналіз.

Побудова параметричної моделі системи дозволяє визначити групу факторів, які характеризують стан системи і умови її функціонування. Суть параметричного аналізу полягає в обґрунтуванні необхідної й достатньої

сукупності факторів, які дозволяють визначити властивості й оцінити ефективність досліджуваної системи.

Запропонована параметрична модель взаємодії трьох підсистем – об'єкту управління (ДР), транспортної мережі міста (ТММ) і центру управління (ЦУ) СУДР, що наведено на рис. 6.2.

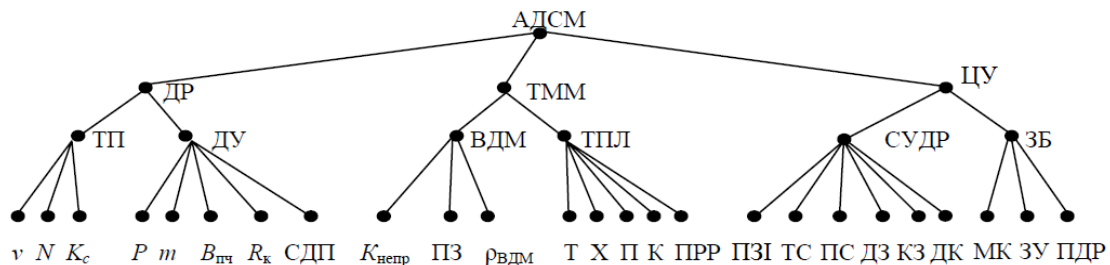


Рисунок 6.2 - Параметрична модель АДСМ

Елементи дорожнього руху, транспортний потік і дорожні умови (ДУ), можуть бути описані певним набором характеристик. Основними характеристиками ТП є: швидкість v , щільність q , інтенсивність N і склад ТП K_c . Інші характеристики ТП можуть бути визначені шляхом аналітичних розрахунків на підставі значень основних параметрів. Дорожні умови визначаються сукупністю геометричних параметрів і транспортно-експлуатаційних якостей дороги.

Найважливішими параметрами, що характеризують функціонування дороги, є пропускна спроможність P , ширина проїзної частини $B_{пч}$, кількість смуг руху m , радіуси поворотів R_k і стан дорожнього покриття (СДП) [58].

Транспортна мережа міста характеризується типом планування (ТПЛ) і конфігурацією вулично-дорожньої мережі (ВДМ). Відомі принципові геометризовані схеми планування ТММ [59]: вільна, радіальна, радіально-кільцева, трикутна, прямокутна, прямокутно-діагональна, гексагональна й комбінована. Кожна схема планування визначає характерний для неї тип перетинання вулиць. За типом перетинань виділяють такі види: т-подібне (Т), х-подібне (Х), п'яти й більше доріг (П), кільцеве (К) і перетинання в різних рівнях (ПРР), які впливають на вибір типу управління ДР.

Транспортно-планувальна схема міста визначає конфігурацію ВДМ, її щільність, відстань між перетинаннями і ступінь складності транспортних вузлів. Найбільш важливими характеристиками структури ВДМ міста є [60]: коефіцієнт непрямолінійності сполучення $K_{\text{непр}}$, пропускна спроможність ВДМ (ПЗ) і щільність ВДМ міста $\rho_{\text{ВДМ}}$. Значення параметра щільності ВДМ впливає на ефективність функціонування міської транспортної системи в цілому.

У рамках проведених досліджень було визначено, що центри управління ДР повинні реалізовувати як керуючі впливи законодавчої бази (ЗБ), так і систем управління дорожнім рухом (СУДР). Закон України (ЗУ) «Про дорожній рух», законодавчі акти, укази, ДСТУ, міжнародні конвенції (МК) «Про дорожній рух» і «Про дорожні знаки» визначають загальну законодавчу базу, на підставі якої діють органи контролю, управління та організації дорожнього руху. Особливо потрібно виділити правила дорожнього руху (ПДР), які встановлюють єдиний порядок руху АТЗ на всій території України і вимоги до учасників дорожнього руху, а також визначають норми їхньої поведінки на дорозі.

Як було визначено, автоматизована система управління дорожнім рухом складається з комплексу технічних, програмних й організаційних заходів, що забезпечують збір та обробку інформації про параметри ТП і на основі цього формують оптимальне управління ДР. Оскільки оптимізація управління неможлива без одержання інформації про ТП, то одним з основних елементів СУДР є підсистема збору інформації (ПЗІ), до яких належать детектори транспорту (ДТ), засоби відеозйомки та GPS.

Реалізацію управляючих впливів здійснюють технічні засоби управління ДР у складі СУДР, до яких належать: транспортні світлофори (ТС), пішохідні світлофори (ПС), дорожні знаки (ДЗ), керовані знаки (КЗ) і дорожні контролери (ДК) [9].

Запропонована параметрична модель АДСМ має фундаментальне значення в дослідженні функціонування системи, що полягає у забезпеченні комплексності і коректності визначення основних параметрів елементів, що характеризують систему [60].

На наступному етапі системного аналізу потрібно побудувати функціональну модель досліджуваної системи. Морфологічний і функціональний описи системи взаємозалежні. Опис морфології внутрішніх процесів АДСМ формує вихідні дані для визначення параметрів у функціональній моделі.

Проведення функціонального аналізу залежить від галузі призначення, складу, типу структури, взаємодії підсистем, визначення процесів, що відбуваються в підсистемі та її взаємодії із зовнішнім середовищем. Тому для кожного типу підсистем функціональну модель буде розглянуто окремо [61].

З урахуванням властивостей ВДМ та ієрархічного принципу обробки інформації було визначено кілька взаємопов'язаних районів управління (рис. 6.3), які формують підсистеми управління за територіальними ознаками та відрізняються методами управління [62]:

- по окремому напрямку руху на елементах ВДМ міста;
- локальний, в межах окремого перехрестя ВДМ;
- магістральний, на сукупності перехресть ВДМ, об'єднаних міською магістраллю;
- районний чи загальноміський для управління рухом в межах окремого району міста або на ВДМ міста в цілому.

Управління дорожнім рухом по окремому напрямку руху на елементах ВДМ міста застосовується для умовного пропуску спеціальних автотранспортних засобів у загальному транспортному потоці.

Локальне управління передбачає мінімізацію показників ефективності транспорту на одному перехресті в рамках обмежень, що надходять з верхніх рівнів, тобто здійснюється корекція циклів світлофорного регулювання за місцевими умовами. До системних технологічних параметрів локального рівня відносяться тривалості циклів, кількість і черговість фаз режиму управління, параметри ТП для алгоритмів пошуку розривів у транспортному потоці.

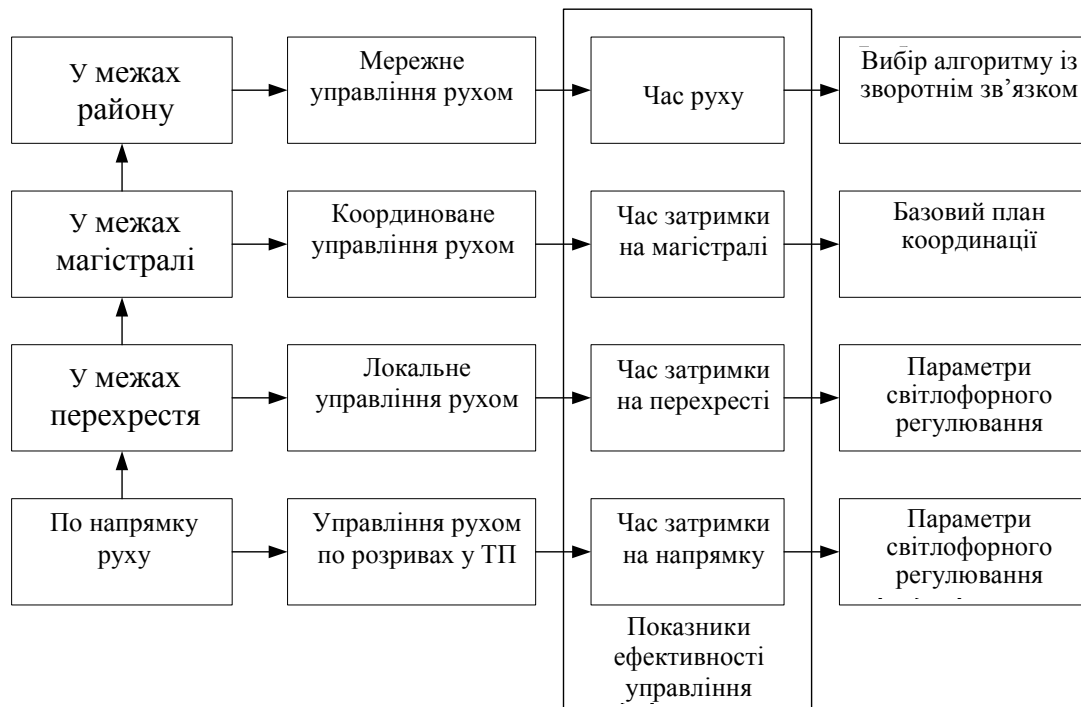


Рисунок 6.3 - Залежність взаємозв'язку методів, параметрів та показників ефективності

Мінімізація затримок транспорту на рівні управління перехрестям може здійснюватися різними методами [62], зокрема:

- використанням масивів сигнальних програм, що обираються залежно від рівня інтенсивностей руху на перехресті;
- пошуком розривів в транспортних потоках;
- управлінням за поточними значеннями параметрів транспортних потоків, в тому числі щільності руху, затримок на закритих напрямках.

На вибір методу мінімізації затримок транспорту в багатопроцесорних ієрархічних АСУДР впливає наступне [63]:

- згідно до загальної концепції системного управління на локальному рівні здійснюється управління в рамках системних обмежень. Практично це зводиться до корекції планів регулювання за місцевими умовами у невеликому діапазоні часу (15-20 % від загального часу управління);
- дослідження різних груп алгоритмів показали, що по ефективності управління вони відрізняються незначно. Тому визначальним при виборі алгоритму є його доступність при реалізації. З цієї точки зору найбільш

прийнятні методи управління з пошуку розривів у транспортному потоці. У порівнянні зі звичайними формами реалізації на підставі ДТ, використання багатопроцесорних систем дозволяє застосовувати найбільш гнучку форму цього алгоритму. Розрив у транспортному потоці визначається за кожним напрямком окремо. Вимкнення дозволяючого сигналу у напрямку відбувається при появі тимчасового розриву в потоці і включається дозволяючий сигнал конфліктуючого з ним напрямку.

Адаптивне локальне управління можливо реалізувати без попереднього розрахунку циклу світлофорного регулювання.

Адаптивність локального управління забезпечується тим, що в систему надходить інформація про час проїзду автомобілем перетину, яке контролюється детектором транспорту і часом перемикання світлофорних сигналів, якщо з відповідного напрямку немає черги на проїзд.

Магістральне управління включає в себе формування керуючих впливів для магістралі міста, що складається з декількох взаємопов'язаних перехресть та перегонів, що відповідають умовам координації. Основною ознакою магістрального управління дорожнім рухом є стійка залежність затримки руху АТЗ на перехресті від часу перемикання світлофорних сигналів на сусідніх світлофорних об'єктах.

Районне управління передбачає організацію руху на сукупності вулиць міського призначення, де здійснюється управління транспортними потоками та мають місце загальні перетини.

Управління ДР в двомірних мережах має назву мережевого керування. У цих випадках проста логіка магістрального управління часто є неприйнятною. У загальному випадку існують два методи визначення керуючих параметрів - вибір програм управління (вибирається одна з заздалегідь підготовлених) або генерація програм із розрахунком оптимальних параметрів, що обчислюються в масштабі часу, близькому до реального, згідно до зміни параметрів умов руху, але виникають проблеми управління ДР на межах магістралей.

Системними технологічними параметрами районного рівня є резервні плани координації, розподіл перехресть по районах єдиного координованого

управління, плани управління при заторах, список можливих режимів функціонування обладнання.

Інформація на рівень магістрального управління надходить з нижнього (локального) рівня обробленою та містить величину затримок і кількість зупинок для кожного напрямку на сукупності перехресть. Обмеженням для управління є базовий план координації, розрахований заздалегідь та надходить з районного рівня. Завданням магістрального управління є корекція базового плану координації за умовами руху на ділянці ВДМ міста з оптимізацією показників ефективності. Базовий план координації розраховується заздалегідь, на основі усереднених за певний інтервал часу параметрів руху - T_y .

Черговість фаз в керуючому впливі на локальному рівні визначається планом управління, що надходить з верхнього рівня. Застосування такої процедури передбачає змінну тривалість проміжних тактів і більш повне використання перехрестя. Необхідною умовою вимикання напрямку є закінчення мінімального часу зеленого сигналу $t_{зел\ min}$.

Визначення планів координації на магістралях проводиться методами координованого управління, проте методи мають ряд особливостей, а саме:

- розрахунок параметрів світлофорного регулювання в режимі координованого управління шляхом розподілу надлишкового часу циклу пропорційно фазовим коефіцієнтам циклу світлофорного регулювання;

- визначення керуючих параметрів графоаналітичним методом на підставі графіку координації;

- оптимізація керуючих параметрів проводиться за непрямим критерієм – часом затримки транспортного потоку на магістралі, що визначається у процесі управління;

- перевірка ефективності управління на зональному рівні проводиться методом плаваючого автомобіля поза режимом реального часу.

Слід зазначити крайню складність застосування адаптивних алгоритмів при вирішенні завдання координації транспортних потоків, як на магістральному, так і на районному рівні. Наведений опис методів

координованого управління виявив їх малоефективність при управлінні на системі магістралей вулично-дорожньої мережі міста, що суттєво обмежує можливості сучасних систем управління дорожнім рухом.

Основний обсяг транспортної роботи в найбільших містах здійснюється по магістральних вулицях, бо вони забезпечують транспортний зв'язок між житловими, промисловими районами і громадськими центрами найбільших міст [51, 64]. Залежно від планувальної структури міста, магістральні вулиці утворюють контури різної структури.

Таким чином, необхідно розробити основи управління дорожнім рухом на магістральних вулицях міста з метою забезпечення рівномірного руху ТП і зниження транспортних затримок у дійсний час. Такий підхід є головною з основних задач організації дорожнього руху в місті. Нами пропонується рішення задачі управління дорожнім рухом на мережі магістралей міста, що утворюють контур ВДМ. Згідно з наведеною класифікацією, дана задача відноситься до районного рівня управління дорожнім рухом у місті.

З урахуванням викладеного за принципами та концепцією стратегічного управління ДР, вважаємо за необхідне запропонувати структурну модель досліджуваної території ВДМ міста (або її районів) у вигляді орієнтованого графу.

Такий підхід відомий та розповсюджений у процесі вирішення транспортних задач, бо наочно відображає зв'язки у транспортній мережі, де перехрестя відповідає вузлам графу, а перегони – ребрам графу із змінною вагою, у залежності від типу дослідження. Схематично виконаний граф транспортної мережі у масштабі, без координатної орієнтації відповідно до реальної транспортної мережі міста не відповідає ознакам моделі та зменшує точність визначення параметрів контурного управління. Саме тому розповсюджені схеми ВДМ відрізняються від моделі ВДМ.

Визначення оптимальних параметрів запропонованого мережевого контурного управління необхідно проводити із застосуванням програмного комплексу, що дозволить забезпечити необхідний рівень точності і швидкості визначення керуючих параметрів. Для цього необхідно розробити програмне

середовище, яке дозволяє побудувати структурну модель вулично-дорожньої мережі за визначеними параметрами.

З метою побудови геоінформаційної моделі транспортної мережі міста (або досліджуваної частини мережі) розроблено спеціальне програмне забезпечення із застосуванням сучасних засобів програмування (середовище Delphi 7.0) та математичних методів багатовимірної оптимізації за обраними критеріями [63].

Введення початкових параметрів здійснюється в режимі діалогу у програмі, яка має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і графічне пояснення кожного з параметрів елементів ВДМ міста. Це істотно спрощує процес адаптації програмного продукту серед фахівців у департаментах організації дорожнього руху державних органів та у місцевому центрі управління ДР.

Модель вулично-дорожньої мережі міста запропоновано у вигляді орієнтованого графа, де вершини є перехрестями, а дуги - перегонами ВДМ. Кожен з елементів характеризується певним набором параметрів. Основу розробленої комп'ютерної моделі складають моделі перехрестя та перегону. Кероване перехрестя розглядається в моделі ВДМ як точка перетину магістралей міста із позначенням інтенсивностей ТП за дозволеними напрямками руху на перехресті [64]. Модель x -подібного перехрестя має вигляд (рис. 6.4).

Надамо опис кожного з перехресть сукупністю параметрів, які пов'язані з особливостями організації дорожнього руху на перетині. До таких параметрів належать:

- k – номер перехрестя, $k = 1, \dots, n$;
- n – загальна кількість перехресть;
- X_k, Y_k – координати перехрестя на двокоординатній сітці моделі.

Значення даних параметрів визначаються автоматично програмним забезпеченням на підставі топологічної карти об'єкта дослідження на початку побудови структурної моделі досліджуваного району управління.

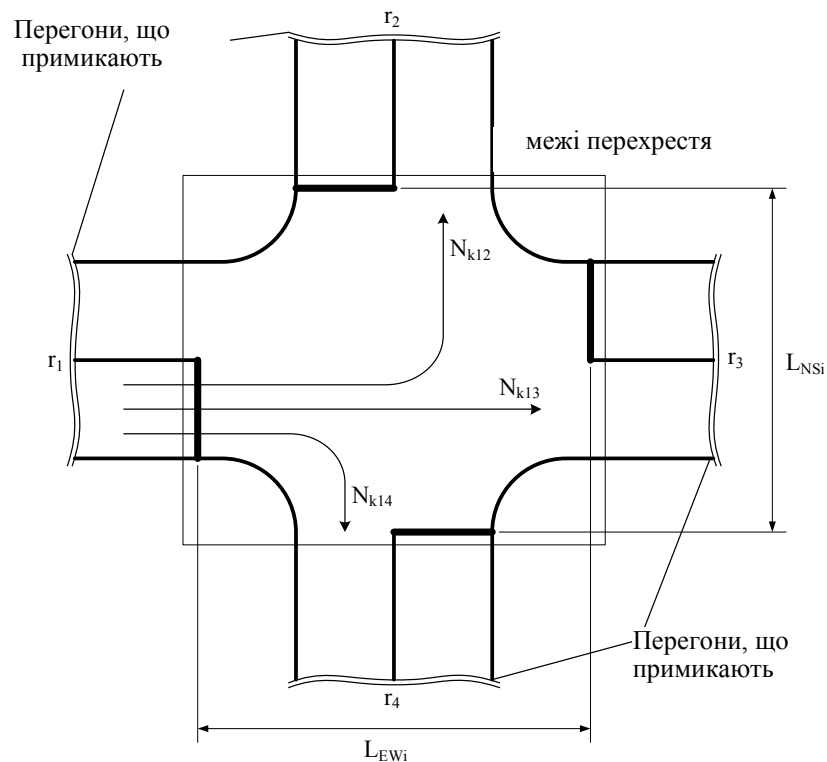


Рисунок 6.4 – Модель перехрестя

Для чіткого визначення положення перехрестя на площині моделі прийняті позначення елементів моделі через географічні сторони світу. Таким чином, верх робочої області позначений як північ (N), низ - південь (S), права частина - схід (E), ліва - захід (W). Ці ознаки застосовуються для позначення місць примикання перегонів до перехресть, а також опису інших характеристик моделі.

Наведемо міркування при комп'ютерному моделюванні, які полягають у наступному. Нехай кількість перехресть дорівнюють n ; X_k , Y_k – координати перехресть, $k = 1 \dots n$, [м]. Координати повинні визначатися щодо будь-якої необхідної крапки на карті міста; такою крапкою може бути, наприклад, південно-західний кут досліджуваної ділянки. Східний напрямок вважається позитивним по осі X , північне - позитивним по осі Y . Таким чином, якщо $X_5 = 200$ і $Y_5 = 350$, це означає, що перехрестя з умовною нумерацією 5 знаходиться на 200 м на схід від обраної за початок координат точки і на 350 м на північ від неї. Точка на площині знаходиться в центрі перехрестя, на перетині осей проїжджих частин. Дані координати не потребують високого ступеня точності, тоді як вони необхідні виключно для визначення довжини перегонів в

метрах, що, при середній швидкості руху транспортних засобів 30 км/год дає похибки при розрахунку циклів світлофорного регулювання у секундах. Визначені координати зручно використовувати для графічного опису транспортної мережі міста у цілому. Для цього після визначення цих координат можливо розташувати перехрестя на координатній сітці та з'єднати перегонами.

Для опису кожного перегону мережі магістралей, а саме контуру управління, застосуємо такі позначення. Перегін ВДМ з'єднує два перехрестя і визначається за номером перехрестя і номером примикання на даному перехресті. Основними параметрами перегону, необхідними для його опису в програмному середовищі імітаційного моделювання, обрані наступні (рис. 6.5):

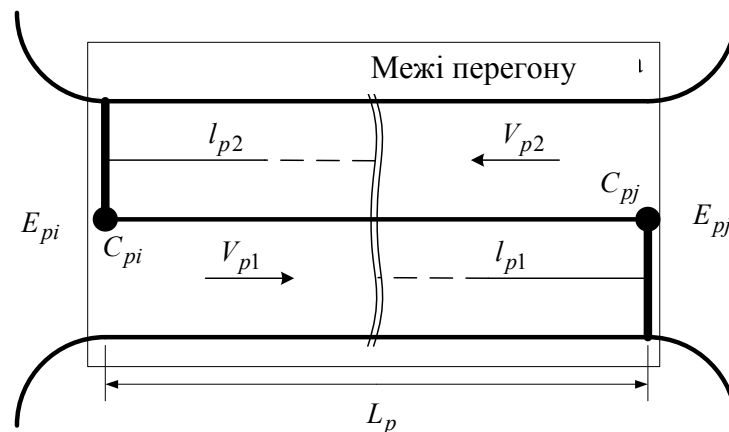


Рисунок 6.5 - Модель перегону

- l_{p1} - кількість полос руху у напрямку $C_{pi} - C_{pj}$;
- l_{p2} - кількість полос руху у напрямку $C_{pj} - C_{pi}$;
- V_{p1} - розрахункова швидкість у напрямку $C_{pi} - C_{pj}$;
- V_{p2} - розрахункова швидкість у напрямку $C_{pj} - C_{pi}$;
- $V_{b,p1}$ - базова еталонна швидкість у напрямку $C_{pi} - C_{pj}$;
- $V_{b,p2}$ - базова еталонна швидкість у напрямку $C_{pj} - C_{pi}$;
- L_p - довжина p -го перегону;
- α_p - коефіцієнт кривизни перегону;
- p - номер перегону у моделі.

Тоді L_{EWi} , L_{NSi} – довжина перехресть в горизонтальному (захід-схід) і вертикальному (північ-південь) напрямку відповідно застосовується в основному для визначення часу проїзду перехрестя транспортним засобом.

Вихідні дані для моделювання перегонів мережі задаємо у вигляді:

m – загальна кількість перегонів в даній ділянці транспортної мережі;

C_{r1} , C_{r2} - номери перехресть, між якими є перегін, $r=1, \dots, m$. У постановці завдання вважається, що перегін з'єднує строго два перехрестя. Це необхідно для відображення того факту, що між перехрестями або існує, або відсутній перегін, тоді як ця ознака має вплив на подальші розрахунки параметрів управління.

E_{r1} , E_{r2} – номери в'їздів на перехрестя (1 - захід, 2 - північ, 3 - схід, 4 - південь); для орієнтації перегону на площині і подальших обчислень необхідно вказати не тільки номер перехрестя, до якого підходить перегін, а й сторону, з якою він підходить.

l_{r1} , l_{r2} – кількість полос у напрямку $C_{r1} \rightarrow C_{r2}$ і $C_{r2} \rightarrow C_{r1}$ відповідно (для випадків, коли на перегоні організовано односторонній рух, одне з цих чисел буде дорівнювати 0). Наприклад, якщо згідно до схеми ОДР, рух можливий тільки в напрямку від перехрестя 13 до перехрестя 20, то $l_{r2}=0$.

α_r – коефіцієнт кривизни перегону. Базова довжина перегону визначається як квадратний корінь з суми квадратів різниць координат перехресть, проте дана величина не може вважатися достовірною, оскільки перегони не являють собою ідеальний відрізок між точками. Коефіцієнт кривизни збільшує розрахункову довжину перегону і, за умовою задачі, не може бути менше 1.

При моделюванні матриці інтенсивності на перехрестях мають вигляд:

$$N_k = \begin{bmatrix} N_{k11} & N_{k12} & N_{k13} & N_{k14} \\ N_{k21} & N_{k22} & N_{k23} & N_{k24} \\ N_{k31} & N_{k32} & N_{k33} & N_{k34} \\ N_{k41} & N_{k42} & N_{k43} & N_{k44} \end{bmatrix}, \quad (6.1)$$

де k - номер перехрестя, $k=1, \dots, n$;

N_{kij} - інтенсивність потоку, що рухається на k -му перехресті від в'їзду i до виїзду j , $i, j = 1, \dots, 4$.

Номери в'їздів і виїздів відповідають індексам примикання перегонів до перехрестя $r_1, \dots, r_4$ (рис. 6.4).

При чому якщо 1 - захід, 2 - північ, 3 - схід, 4 - південь, діагональні елементи відповідають інтенсивності потоку на розвороті (N_{11} - із заходу на південь). Якщо, згідно з ОДР або в силу природної геометрії перехрестя на одному з напрямків рух заборонено або він відсутній (Т-подібне перехрестя, односторонній перегін), відповідний елемент дорівнює 0. Наприклад, якщо поворот наліво з південного напрямку заборонений, то $N_{41} = 0$ та транспортний потік з півдня на захід відсутній. Якщо ж при цьому поворот заборонений, оскільки перегін на західній стороні перехрестя має односторонній рух, то всі інтенсивності N_{1j} можуть бути позитивними.

Позначимо через V_{r1} , V_{r2} задані швидкості на даному перегоні, при цьому вважаємо, що на кожному перегоні присутнє обмеження швидкості ТЗ, більш того, дана швидкість є рекомендованою для реалізації принципу координації руху. Якщо АТЗ будуть рухатися з рекомендованою швидкістю, вони перетнуть наступне перехрестя на дозволяючий сигнал світлофора; а значення цієї швидкості для прямого і зворотного напрямку можуть відрізнятися, тому в розробленій методиці присутні дві рекомендовані швидкості для кожного перегону (винятком є такі випадки, коли смуг руху в одному з напрямків немає, тобто на перегоні організовано односторонній рух).

Позначимо через Q_r номер перегону, швидкості на якому повинні збігатися зі швидкостями на даному перегоні.

Наданий опис перегонів, пов'язаних з даними перехрестям, буде мати вигляд

$$\forall r(k): C_{r1} = k \vee C_{r2} = k . \quad (6.2)$$

Визначаємо індекси всіх перегонів, для яких номер одного з пов'язаних перехресть дорівнює номеру розглянутого. Таких перегонів в загальному випадку може бути від 0 до 4: r_1 - перегін, що примикає до перехрестя з заходу, r_2 - з півночі, r_3 - зі сходу, r_4 - з півдня. Фактично це прямий перебір всіх перегонів та вибір з них тих, які, по-перше, пов'язані з даними перехрестям, по-друге, мають смуги руху в напрямку до цього перехрестя. Якщо перегін геометрично з'єднаний з перехрестям, але є смугою одностороннього руху в напрямку від перехрестя, то він не бере участі у вибірці; тут відбувається пошук фактичних генераторів інтенсивності, що входить до перехрестя. Якщо перегін відсутній, то $r_i = 0$.

Далі визначаємо параметри, що надають геометричні розміри перехрестя, а саме його довжину і ширину (рис. 6.4):

- L_{EWi} – розмір i -го перехрестя у горизонтальному (схід-захід) напрямку;
- L_{NSi} – розмір i -го перехрестя у вертикальному (північ-південь)

напрямку.

Прив'язка перегонів до перехресть проводиться шляхом їх індексації - через номер перехрестя та індекс напрямку примикання перегону до перехрестя, що розглядається:

C_{pi}, C_{pj} - номери перехресть, між якими є перегін, $p = 1, \dots, m$;

E_{pi}, E_{pj} - номери в'їздів на перехрестя, відповідають індексам примикання перегонів до перехрестя (1, ..., 4);

m - кількість перегонів на досліджуваній ВДМ міста.

Розроблена модель ВДМ міста призначена для відтворення динаміки дорожнього руху по транспортній мережі з метою вирівнювання швидкості руху транспортного потоку на прямолінійних перегонах [63]. Фрагмент розробленої моделі за наданим описом для транспортної мережі центральної ділової частини м. Харків, наведено на рис. 6.6.

Таким чином, розроблено геоінформаційну модель вулично-дорожньої мережі та транспортних потоків [52], що є необхідним і достатнім для моделювання керуючих параметрів контурного управління на ВДМ міста.

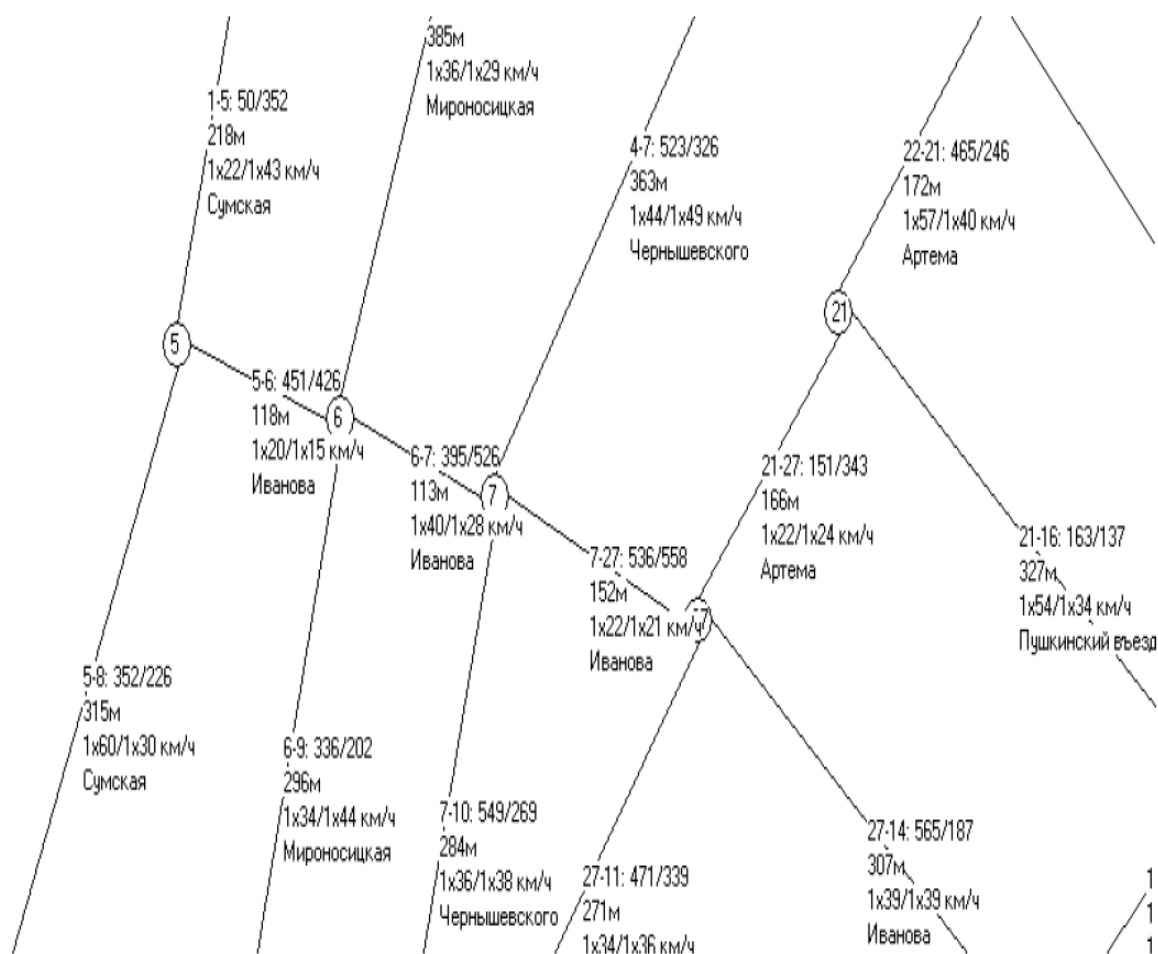


Рисунок 6.6 – Модель части транспортной мережі м. Харків

7 ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КООРДИНОВАНОГО УПРАВЛІННЯ НА МІСЬКИХ МАГІСТРАЛЯХ

У вітчизняній та закордонній практиці організації дорожнього руху на міських вулично-дорожніх мережах однією з основних задач (окрім безпеки руху) являється забезпечення безупинного руху груп автомобілів. Таким чином вирішується задача пропуску пачкоподібних потоків через світлофорні об'єкти у магістральних напрямках [65, 66]. Такий режим руху транспортних потоків дозволяє значно підвищити ефективність використання автомобіля, як засобу транспортування, а головне, знизити негативні наслідки від його руху, такі як екологічне та шумове забруднення міського середовища, ризики виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Виникнення групового (пачкоподібного) режиму руху пов'язано зі специфікою світлофорного регулювання, коли досягається розділення транспортних потоків у часі. Розглядаючи рух транспортних потоків міськими магістралями стає очевидним, що окремі перехрестя стають взаємозалежними по управлінню і виникає необхідність координації роботи технічних засобів регулювання.

Характер перетворення груп залежить від довжини перегону (часу проїзду) і моменту зміни заборонного сигналу на сигнал, що дозволяє рух, тобто зсуву фаз. Таким чином, оптимізація вибору величини зсуву фаз при заданій довжині перегону є головним завданням нового підходу в управлінні рухом, що полягає в активному впливі на процес перетворення груп.

Технологічна складова координованого управління визначається планом координації, приклад якого наведено в табл. 7.1.

Програма координації складається в порядку положення перехресть за наступними правилами:

- а) таблиця заповнюється в порядку збільшення часу включення;
- б) час включення не може бути більше тривалості циклу регулювання;

в) якщо час включення рівний 0, то його приймають рівним тривалості циклу;

г) увімкнення кожної фази починається з проміжного такту, оскільки лідер починає рух тільки після закінчення проміжного такту.

Таблиця 7.1 – Приклад плану координації роботи світлофорних об'єктів

Номер перехрестя	Тривалість циклу регулювання, $T_{\text{ц}}$	Час увімкнення, с/номер фази		
		50/2	70/1	-
1	70	50/2	70/1	-
2	70	10/2	30/3	45/1
3	70	10/2	30/1	-
4	70	18/2	46/3	60/1

Таким чином, план координації представляє собою сукупність програм координації, які, в свою чергу розробляються на підставі графіку координованого управління.

Серед найпоширеніших способів визначення часу включення сигналів (зсувів фаз регулювання) світлофорних об'єктів слід відзначити графоаналітичний розрахунок [66], який полягає у побудові графіку руху «пачки» автомобілів в системі координат «час – відстань».

Якість координованого управління транспортними потоками на міських магістралях головним чином залежить від забезпеченості швидкісного режиму на ділянках магістралі згідно розрахункової швидкості. Тобто, від того, наскільки транспортні потоки рухаються зі швидкістю, близькою до розрахункової, залежатиме чи буде забезпечено автомобілям безупинний рух.

Задача забезпечення умов для сталої швидкості транспортних потоків в режимі координованого управління має вирішуватись на підставі дослідження саме причин, які можуть спричиняти порушення сталості зазначеної швидкості. Такими причинами можуть бути будь-які перешкоди, що трапляються на шляху прямування автомобілів, а саме:

- технічна несправність автомобіля;
- дорожньо-транспортна пригода;
- пошкодження покриття проїзної частини;
- сигнал світлофору, що забороняє рух;
- автомобілі, що вимушені були зупинитись в попередній фазі регулювання на сигнал світлофору, що забороняє рух.

Перші дві з перелічених причин мають високо стохастичний характер і важко піддаються прогнозуванню. Третя наведена причина не відноситься до сфери управління транспортними потоками і являється питанням експлуатації вулично-дорожньої мережі. Четверта причина, що представлена вище, усувається саме шляхом запровадження режиму координованого управління. П'ята причина являється предметом даного дослідження і може бути проаналізована з позиції виникнення ударних хвиль в транспортних потоках, що спричиняються «вузькими» місцями на вулично-дорожній мережі.

Необхідно відзначити, що суттєвим обмеженням відомих способів визначення параметрів координованого управління являється відсутність урахування несформованих транспортних потоків, які в'їжджають на магістраль з другорядних напрямків і, відповідно, не позбавлені супроводження в «стрічці часу», що призводить до їх зупинки в період сигналу, що забороняє рух, і в наступному викликає затримки головного потоку який рухається магістраллю.

Порушення ритму руху основних магістральних потоків, спричиняє вимушені зміни швидкості потоків і, як наслідок, знижує ефективність координованого управління. Ступінь зазначеного впливу транспортних потоків з другорядних напрямків на ритмічність руху основних потоків по магістралі залежить від довжини перегонів.

Забезпечення сталої швидкості транспортних потоків в режимі координованого управління на міських магістралях має ґрунтуватись на урахуванні в процесі визначення зсуву фаз регулювання довжини черг автомобілів, що формуються після їх виїзду на магістраль з другорядних напрямків.

На рис. 7.1 наведено приклад графіку координації для ділянки магістралі, що включає три регульованих перехрестя. При побудові наведеного графіку враховувались параметри ділянки магістралі і параметри транспортних потоків, які рухаються по ній. В той же час, в процесі побудови графіку, на другому перехресті від початку вісі ординат, виникає ситуація, коли тривалість основного такту перевищує ширину стрічок часу, які проходять через нього, тобто виникає певний «запас» основного такту (рис. 7.1).

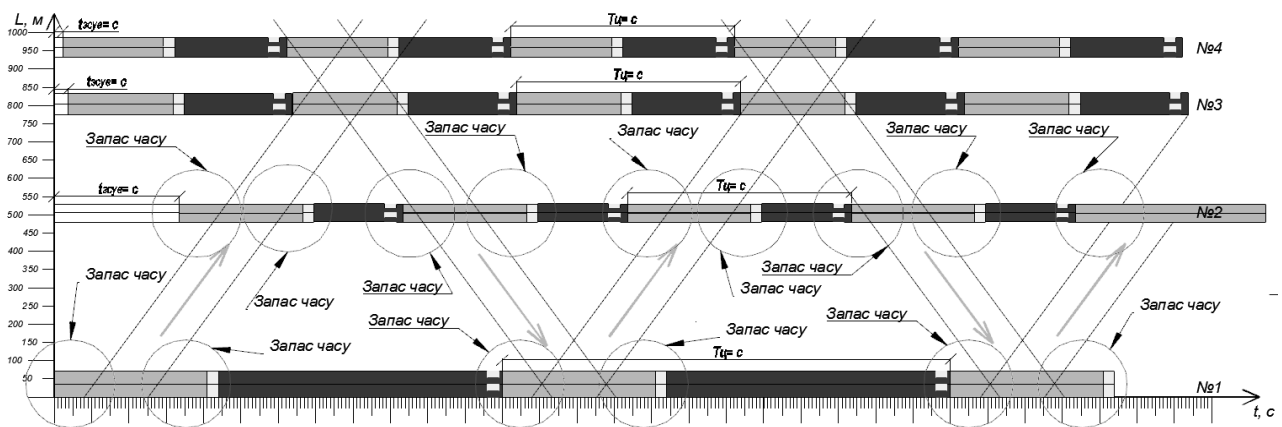
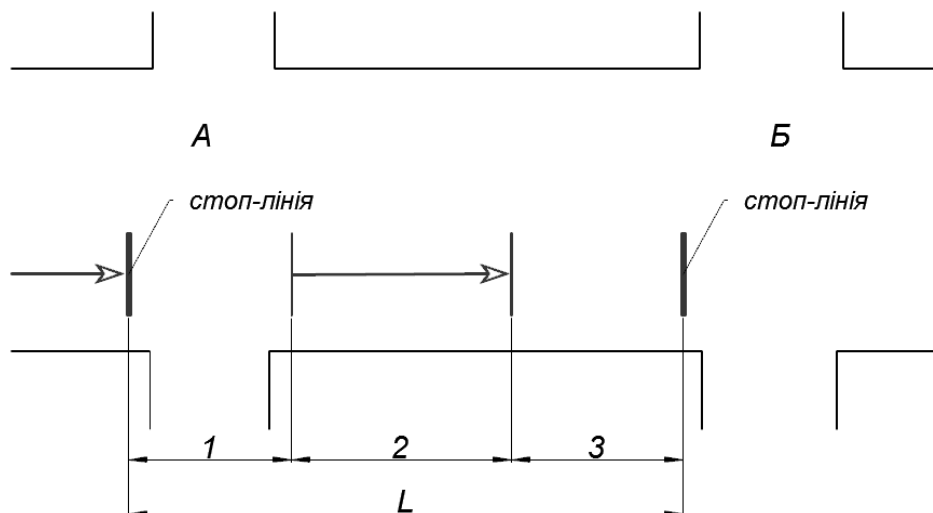


Рисунок 7.1 – Графік координації світлофорних об'єктів з запасом основного такту магістральної фази регулювання

Таким чином, на представленому графіку стрічки часу прямого і зворотного магістральних напрямків проходять через перехрестя різним чином. Так на перехрестях №4 та №3 «стрічки часу» проходять через основні такти регулювання без можливості їх зрушенні праворуч або ліворуч, тоді як на перехресті №1 та №2 певний «запас» основного такту регулювання спричиняє можливість додатково коригувати параметри роботи даних світлофорних об'єктів. З метою підвищення якості координованого управління саме зазначений «запас» основного такту пропонується застосовувати для забезпечення сталої швидкості магістральних транспортних потоків шляхом попереднього звільнення підходу до стоп-лінії світлофорного об'єкту від автомобілів, що виїжджаючи з другорядного напрямку попереднього перехрестя змушені були зупинитись в період дії заборонного сигналу.

Формулюючи умови графоаналітичного розрахунку параметрів координованого управління можна визначити одну з головних задач, яка полягає у тому, що забезпечення сталої швидкості транспортних потоків в режимі координованого управління на міських магістралях має ґрунтуватись на урахуванні в процесі визначення зсуву фаз регулювання довжини черг автомобілів, що формуються після їх виїзду на магістраль з другорядних напрямків.

Розглянемо більш детально, що відбувається з груповим транспортним потоком при русі групи транспортних засобів від стоп - лінії одного перехрестя до стоп-лінії по ходу руху наступного перехрестя (рис. 7.2).



Умовні позначення:

- 1 – зона розгону після стоп-лінії;
- 2 – зона розпаду груп транспортних засобів;
- 3 – зона гальмування (формування груп);
- L – довжина перегону, м.

Рисунок 7.2 – Схема ділянки вулиці

Відомо, що перетворення груп автомобілів може мати три основні стадії:

- утворення груп при роз'їзді черги від стоп-лінії [67, 68];
- розпадання груп при русі по перегону [69, 70];
- формування груп при підході в зоні перехрестя на заборонний сигнал світлофора [69, 70].

На першій стадії група має початкову часову тривалість. При цьому інтервали між послідовними транспортними засобами – мінімально допустимі. В процесі другої стадії може відбуватися збільшення часових інтервалів і як наслідок тимчасової тривалості всієї групи. На третій стадії відбувається поступове зменшення часових інтервалів між послідовними автомобілями до мінімально допустимих і в підсумку вся група має первісну тимчасову тривалість. Наведений опис приведений для інтенсивності транспортного потоку.

При зміні інтенсивності транспортного потоку спостерігається зміна властивостей груп транспортних засобів. Під терміном властивості далі слід розуміти властивості групи транспортних засобів розпадатися і стискатися (формуватися) в процесі руху. Нехай:

N_1 – транспортний потік низької інтенсивності, $K_n < 0,3$;

N_2 – транспортний потік середньої інтенсивності, $0,3 < K_n < 0,5$;

N_3 – транспортний потік високої інтенсивності, $K_n > 0,5$.

При N_1 групи транспортних засобів після проходження перехрестя швидко розпадаються і груповий характер руху руйнується, при N_2 спостерігається чітко виражений груповий характер руху і відмічається як властивість розпаду груп і при N_3 розпад груп зменшується і практично непомітний.

Для урахування параметрів транспортних потоків в процесі графоаналітичного розрахунку параметрів координованого управління доцільно визначити режим (умови) руху груп транспортних засобів при різних інтенсивностях. Відповідно з роботами [69, 70] режим руху транспортних засобів ділиться на наступні:

- вільний;
- частково зв'язаний;
- вимушений.

Перехід режимів руху протягом довжини перегону може відбуватись через наявність перешкод на шляху руху, тобто через наявність «вузьких» місць. Таким чином, «пачка» автомобілів може як збільшуватись («розтягуватись»), так

і ущільнюватись через змушене зниження швидкості «лідера» групи аж до повної зупинки.

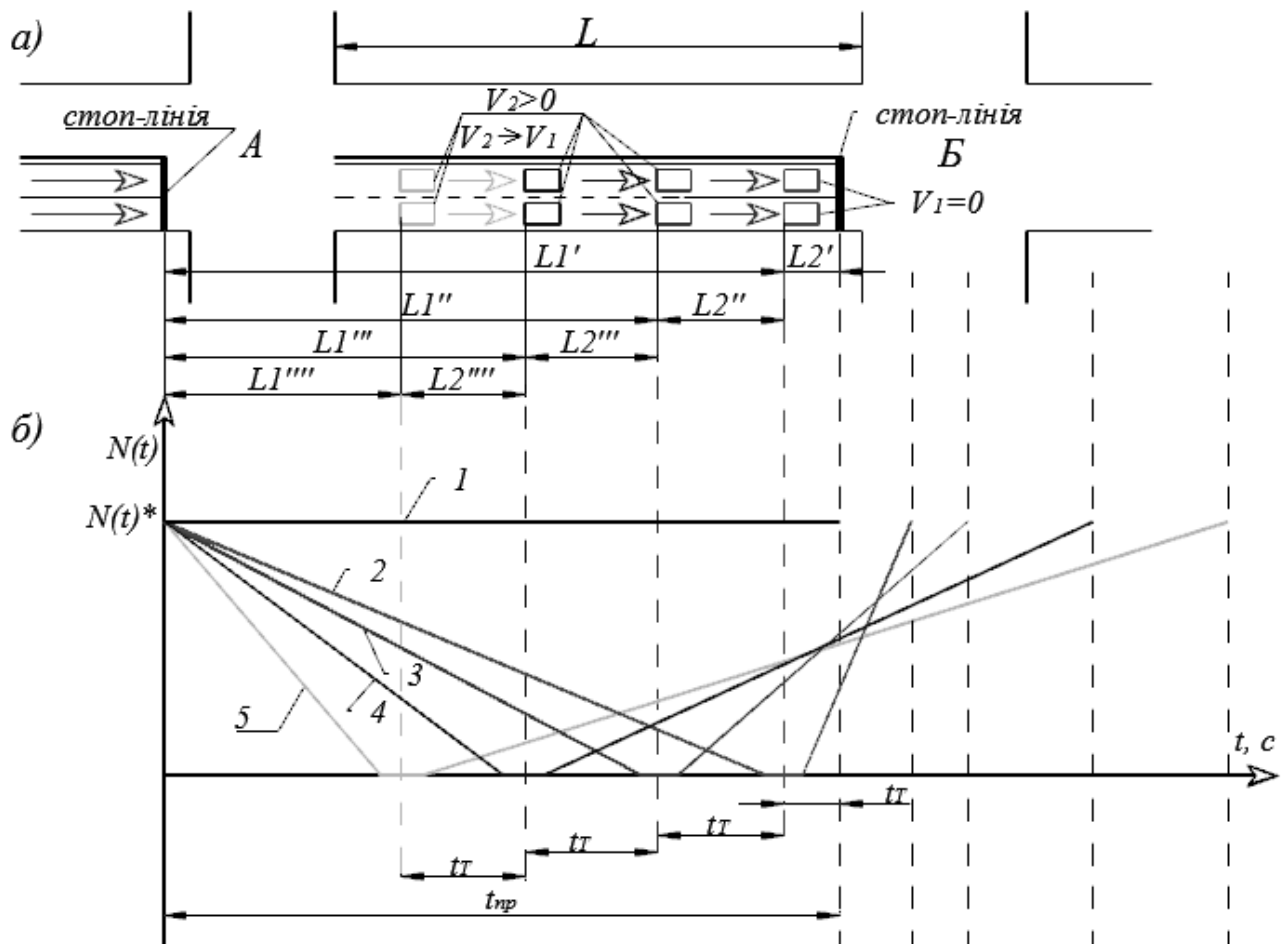
Для аналізу процесу руху магістральних потоків виділимо окремі зони на ділянці «перехрестя – перегін – перехрестя» (рис. 7.3), на яких кожен учасник руху формує власний швидкісний режим з урахуванням дорожніх умов, що формуються в поточний момент часу. В системі координованого управління саме дорожні умови, зокрема наявність черги автомобілів попереду в напрямку руху, визначатимуть чи зупинятиметься автомобіль, що рухається в магістральному напрямку в «стрічці часу».

Залежність зміни миттєвої інтенсивності від часу проїзду на ділянці дорожньо-транспортної мережі і процеси, що відбуваються з груповим транспортним потоком при русі групи транспортних засобів від стоп - лінії одного перехрестя до стоп - лінії наступного по ходу руху перехрестя наведені на рис. 7.3.

В процесі руху транспортного потоку по магістралі сформовані на світлофорних об'єктах «пачки» автомобілів зазнають перетворень, які можна розділити на три стадії:

- утворення групи при роз'їзді черги від стоп-лінії на перехресті *A*;
- розпад груп при русі по перегону;
- формування групи при підході до перехрестя *B* у разі дії заборонного сигналу, або при наявності на шляху руху черги автомобілів, що в'їхали до магістралі з другорядних напрямків перехрестя *A* і були вимушені зупинитись на сигнал, який забороняє рух.

Крива, що знаходиться в інтервалі значень від 0 до t_T відображає характер зміни властивостей транспортного потоку при роз'їзді групи автомобілів, що рухаються по перегону і може застосовуватися при значеннях питомої інтенсивності.



Умовні позначення: а) – Схема ділянки магістралі: A і B перехрестя ділянки магістралі; $L1'$ – зона розпаду груп транспортних засобів (для помірного рівня завантаження дороги рухом); $L2'$ – зона гальмування (формування груп); L – довжина перегону, м.

б) – Залежність миттєвої інтенсивності транспортного потоку при русі ділянкою: $N(t)^*$ – інтенсивність руху на вході ділянки; $L1$ – при $N \leq N_3$; $L2$ – при $N \geq N_3$; t_{np} – час руху по перегону при сталій швидкості; t_T – час гальмування групи автомобілів.

Рисунок 7.3 – Зміна миттєвої інтенсивності магістрального транспортного потоку на перегоні з чергою автомобілів

Крива, що знаходиться в інтервалі значень від t_T до t_{np} відображає характер зміни властивостей групи автомобілів в зоні гальмування при русі на заборонний сигнал і воно вірно для середніх значень питомої інтенсивності.

Лінія 2, представлена на рис. 7.3, відображає характер зміни властивостей транспортного потоку високої питомої інтенсивності.

Значення t_T від початку і до стоп - лінії може залежить на будь якій відстані, як показано на рис. 7.3 різними лініями. Це залежить від того скільки

автомобілів з другорядних (поворотних) доріг зупиняться на сигнал світлофора, що забороняє рух і спричинить зупинку повну або часткову для автомобілів, що почнуть рухатися з головного напрямку (прямо) і не зможуть проїхати перегін без зупинки, так як перед ними будуть стояти автомобілі, що не встигли проїхати в попередній час фази, що дозволяє рух. І чим більше автомобілів будуть зупинятися перед «стоп - лінія» на світлофорі на сигнал, що забороняє рух, тим більше ймовірності того, що в «час-пік» може утворитися затор, так як з другорядних доріг автомобілі не встигатимуть роз'їхатись. Таким чином, при розробці і впровадженні координованого управління необхідно враховувати параметри транспортних потоків, що в'їжджають до магістралі з другорядних напрямків. В такому разі, автомобілі з другорядних напрямків, повертаючи на магістраль будуть вимушені, в більшості випадків, зупинитись на сигнал світлофора, що забороняє рух, наступного на шляху прямування.

Спираючись на відому залежність основних параметрів транспортного потоку [71] можна стверджувати, що при русі ділянкою магістралі за різних значень довжини черги, що заважає рухатись в «стрічці часу», відбувається зміна миттєвого значення інтенсивності транспортного потоку (на рис. 7.3 позначено відповідні графіки).

Крива 1, наведена на рис. 7.3 характеризує зміну миттєвого значення інтенсивності транспортного потоку за умови, що автомобілі рухаються в «стрічці часу» за відсутності черги автомобілів. Криві 2 - 5, відображають характер зміни миттєвого значення інтенсивності транспортного потоку за умов, що на наступному в напрямку руху перехресті діє заборонний сигнал, або наявна черга автомобілів, що зупинились у попередній фазі регулювання. В такому разі, виникатиме зона, де водії вимушені знижувати швидкість аж до повної зупинки. Тобто, зазначені зони являють собою «вузькі місця», де вимушено знижується швидкість транспортних потоків аж до повної зупинки і спричинятиметься зниження пропускної здатності усієї ділянки магістралі. Положення зазначених «вузьких місць» на ділянці буде визначатись наявністю черги автомобілів і їх кількістю (довжиною черги), що залежатиме від сумарного значення

інтенсивності вхідних транспортних потоків з другорядних напрямків перехрестя A .

При наявності на шляху прямування групи автомобілів перехрестя зі світлофорним регулюванням в групі відбуватимуться перетворення – група може «деформуватись» через вплив пропускну здатності перехрестя. Для формалізації такого впливу доцільно застосувати поняття «миттєвої» інтенсивності транспортного потоку. Тоді для формалізації процесу перетворення груп автомобілів високої інтенсивності на магістралі в системі координованого управління може бути застосований відомий [73] математичний апарат.

Розглянемо, як змінюється миттєва інтенсивність в групі автомобілів, наступної між перехрестями при різній інтенсивності транспортного потоку.

Відповідно до роботи [73] зміна миттєвої інтенсивності при $N < N_3$ на стадії розпаду групи автомобілів можна описати таким виразом:

$$N(t) = N(t)^* \cdot e^{-kt}, \quad (7.1)$$

де $N(t)^*$ – інтенсивність руху на виході з перехрестя;

k – коефіцієнт приведення;

t – час проїзду.

Для опису зміни миттєвої інтенсивності з урахуванням стадії формування групи при $N > N_3$ доповнене вираз (7.1) може бути представлено, як в роботах [79]:

$$N_2(t) = \begin{cases} N(t)^* \cdot e^{-kt} & \text{при } 0 \leq t \leq t_{np} - t_T \\ \frac{N(t)^*}{t_T} [1 - e^{-k(t_{np} - t_T)}] (t_T - t_{np}) & \text{при } t_{np} - t_T \leq t \leq t_{np} \end{cases}, \quad (7.2)$$

де t_{np} – час руху по перегону при постійній швидкості;

t_T – час гальмування (формування) групи автомобілів.

При інтенсивності транспортного потоку $N > N_3$ залежність (7.2) можна в загальному, вигляді записати як:

$$N(t) = \begin{cases} N_2(t) & \text{npu} & N \leq N_3 \\ N(t) = \text{const} & \text{npu} & N \geq N_3 \end{cases}. \quad (7.3)$$

Тоді, повна форма системи (7.3) матиме наступний вигляд:

$$N(t) = \begin{cases} N(t) * \cdot e^{-kt} & \text{npu} & 0 \leq t \leq t_{np} - t_T \text{ ма } N \leq N_3 \\ \frac{N(t) *}{t_T} [1 - e^{-k(t_{np} - t_T)}] (t_T - t_{np}) + N(t) * & \text{npu} & t_{np} - t_T \leq t \leq t_{np} \text{ ма } N \leq N_3 \\ N(t) = \text{const} & \text{npu} & N \geq N_3 \end{cases}. \quad (7.4)$$

Таким чином, довжина черги автомобілів, що зупиняються перед «стоп-лінією» перехрестя на сигнал, що забороняє рух, впливає на ритм руху транспортних засобів, що рухаються магістраллю, і тим самим впливає на зміни швидкості потоків і, як наслідок, знижує ефективність координованого управління. Відповідно врахування параметрів транспортних потоків не лише магістрального напрямку, а і другорядних при графоаналітичному розрахунку параметрів координованого управління на міських магістралях дозволить підвищити ефективність організації дорожнього руху.

Необхідно зауважити, що зменшувати вплив поворотних потоків на рух магістраллю необхідно не за рахунок зміни циклів світлофорного регулювання. Доцільно дану задачу вирішувати за рахунок «надлишків» (рис. 7.1) основного такту, які не «обслуговують» «пачки» автомобілів. Саме такі «надлишки» можуть забезпечувати потенціал для обслуговування автомобілів з другорядних напрямків, і таким чином, звільняти підхід до перехрестя від черги автомобілів з другорядних напрямків. Таким чином, може забезпечуватись підвищення якості координованого управління на міських магістралях.

8 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

За даними ВООЗ щорічно в результаті ДТП гине близько 1,3 млн. чол., а травми отримують близько 20-50 млн. чол. Згідно з оцінками експертів, глобальні втрати від ДТП становлять близько 518 млрд. дол. США. В умовах глобальної проблеми в забезпеченні безпеки дорожнього руху (БДР) провідні світові країни під егідою Генасамблеї ООН прийняли план заходів щодо зниження аварійності та її наслідків. Без перебільшення жодна з галузей матеріального виробництва неспроможна функціонувати без транспортного обслуговування. Надійність автомобільних перевезень як пасажирських, так і вантажних життєво важлива для економічного зростання і соціального розвитку суспільства [64]. Україна, як держава з одним із найгірших показників безпеки, повинна більш інтенсивно реагувати на заходи провідних світових країн та долучатися до світових програм і реалізовувати конкретні заходи.

На теперішній час в Україні розроблені та діють велика кількість нормативних документів щодо забезпечення безпеки дорожнього руху. Частина з яких розроблені самостійно, а частина імплементовані міждержавні норми: 5 регламентів, 11 законів, 25 постанов КМУ, одним з яких є Положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті (СУБР на АТ). Всі ці документи спрямовані на підвищення БДР та удосконалення системи управління безпекою дорожнього руху (СУБДР) в цілому. Однак не всі заходи, з різних причин, можуть належним чином відобразитись на функціонуванні системи і основних критеріях її функціонування (рис. 8.1-8.3).

Функціонування будь якої системи підпорядковується певним цілям і завданням. Загальний вектор, що задає цільові функції системи в Україні, формують загальнонаціональні програми підвищення БДР на певні періоди (до 2010 р; до 2020 р тощо). Аналізу реалізації різних програм присвячено багато публікацій вітчизняних та закордонних експертів: Л. С. Абрамова, R. Elvik, В. П. Поліщук, А. В. Вельможин, В. А. Гудков, В. Д. Герамі, С. А. Матійко, Л. Б. Міротін, Є. В. Нагорний, Н. М. Оніщенко, Дж. Х. Харрінгтон, Т. Ваа,

J. Barker, K. Jamroz, В. Д. Кондратєв, В. В. Аулін, Д. В. Капський, G. Yannis, T. Bliss, E. Dupont, N. Muhlrad, K. Lipovac, L. Mooren, F. Wegman, A. Varhelyi та інші.

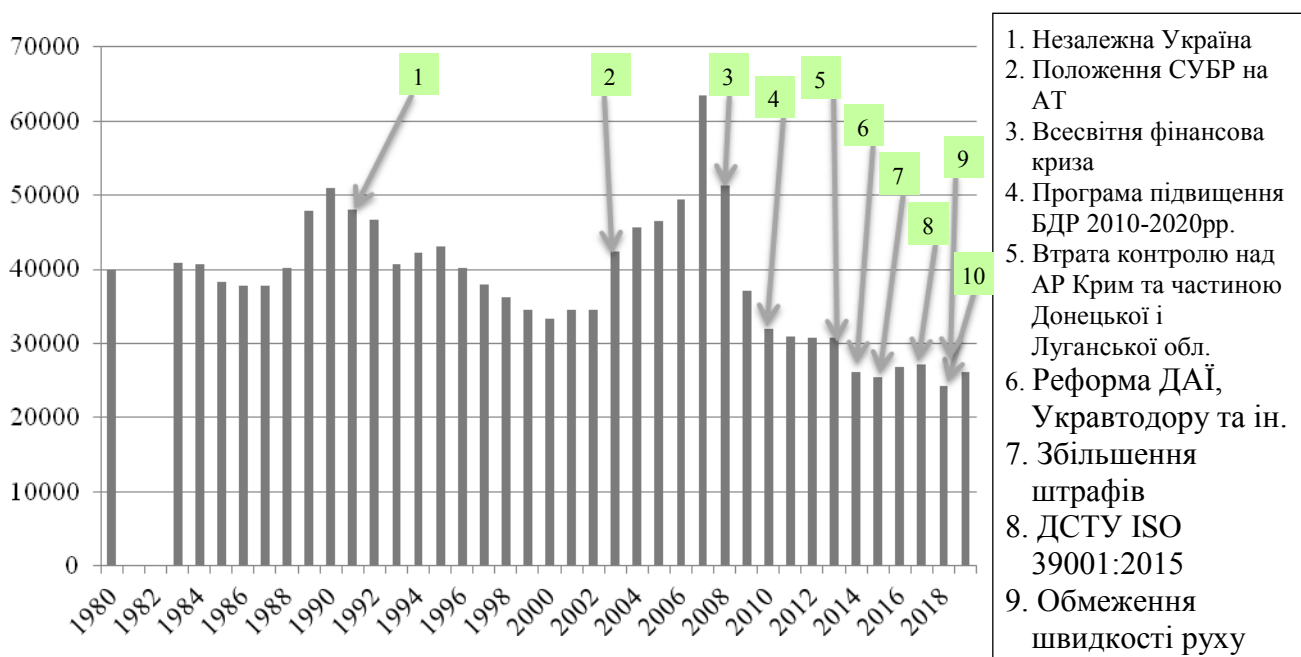


Рисунок 8.1 - Дорожньо-транспортні пригоди на дорогах і вулицях з постраждалими, одиниць

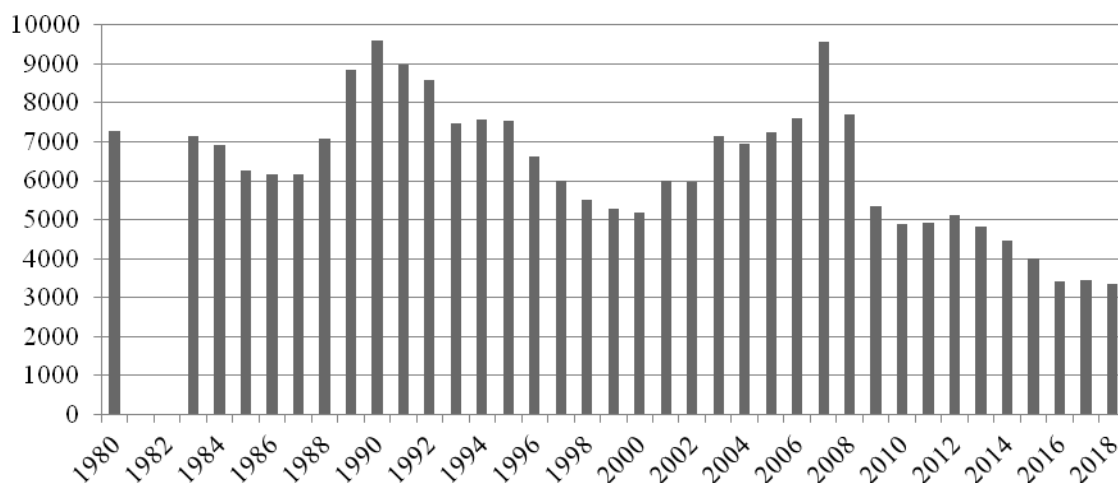


Рисунок 8.2 – Кількість загиблих в ДТП

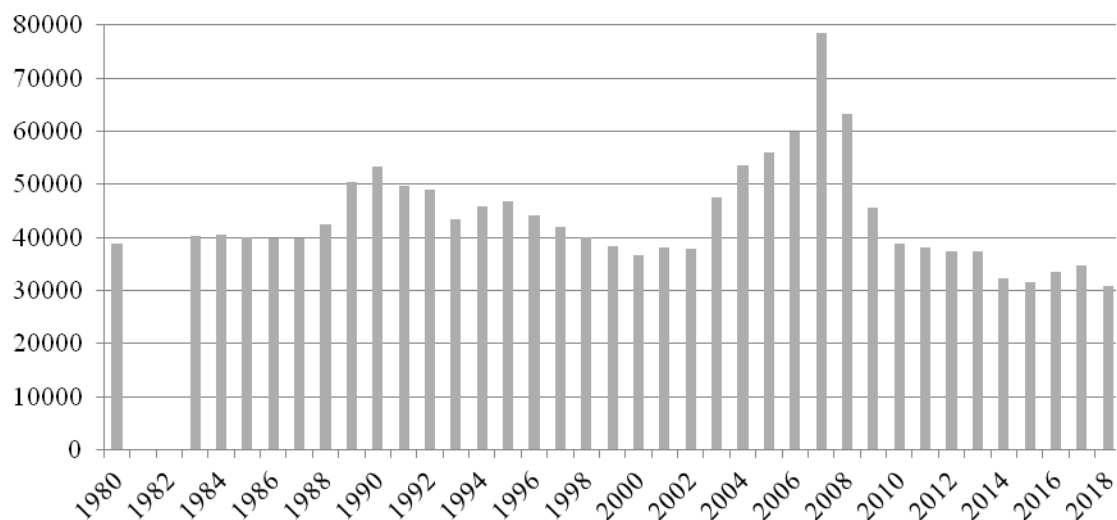


Рисунок 8.3 – Кількість поранених в ДТП

У дослідженнях вітчизняних та закордонних вчених виділяються причини низького рівня БДР в Україні [65], а саме:

- низький рівень дорожньої дисципліни;
- не забезпечення невідворотності покарання;
- низький рівень координації «центр-місцеві»;
- низький рівень фінансування;
- не забезпечення підвищення кваліфікації;
- низька ефективність заходів підвищення БДР;
- низький рівень використання засобів контролю;
- не ефективність системи контролю за безпекою автомобільного транспорту;
- низький рівень громадської комунікації;
- відсутність інтегрованої системи мобільності;
- недосконалість післяаварійних заходів.

Побудова ефективної структури СУБДР повинне вирішувати вказані недоліки.

Розуміння об'єкту управління в СУБДР починається у його визначенні. Безпека дорожнього руху це - умови та чинники, внаслідок яких виникають дорожньо-транспортні аварії та дорожньо-транспортні пригоди і які можуть спричинити, або мають можливість спричинити смерть, або важкі тілесні

ушкодження для учасників дорожнього руху. Дане визначення формує вимоги до СУБДР. Саме ж управління безпекою дорожнього руху (УБДР) передбачає дію, направлену на досягнення БДР і визначається як – підготовка, прийняття, реалізація управлінських рішень із здійснення організаційних технічних та інших заходів на автомобільному транспорті, спрямованих на забезпечення безпеки, збереження здоров'я людини та навколишнього середовища [66].

Згідно з Наказом міністерства транспорту України №877 від 12.11.2003 затверджено «Типове положення про систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті (на всіх рівнях міністерство-підприємство)».

З 01.07.2017 року в Україні вступив в дію держстандарт у сфері БДР – ДСТУ ISO 39001:2015 «Система управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 39001:2012, ITD), який включає:

- систему менеджменту БДР на підприємстві;
- етапи розробки і функціонування системи менеджменту БДР на підприємстві. Практичні аспекти проведення аудиту, навчання персоналу і впровадження СУБДР;

- роль керівництва з організації менеджменту БДР;
- політика на підприємстві у сфері БДР;
- організація функціонування системи менеджменту БДР;
- визначення процедур на підприємстві у сфері БДР;
- систему сповіщень про ДТП;
- виявлення та аналіз факторів небезпек;
- методології виявлення ризиків БДР;
- управління факторами ризику;
- показники ефективної БДР;
- розслідування ДТП;
- аудит з питань функціонування СУБДР.

Головна мета СУБДР – забезпечення безпечного перевезення пасажирів та вантажів і зниження негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Принципи функціонування СУБДР:

- системність;
- випередження;
- колективізму;
- інформованості;
- виявлення та усунення;
- адекватності (відповідність потенційним загрозам);
- відповідальності.

Виходячі з вимог до системи, відповідно до її мети та принципів функціонування виділяють комплекси функцій системи (рис. 8.4).

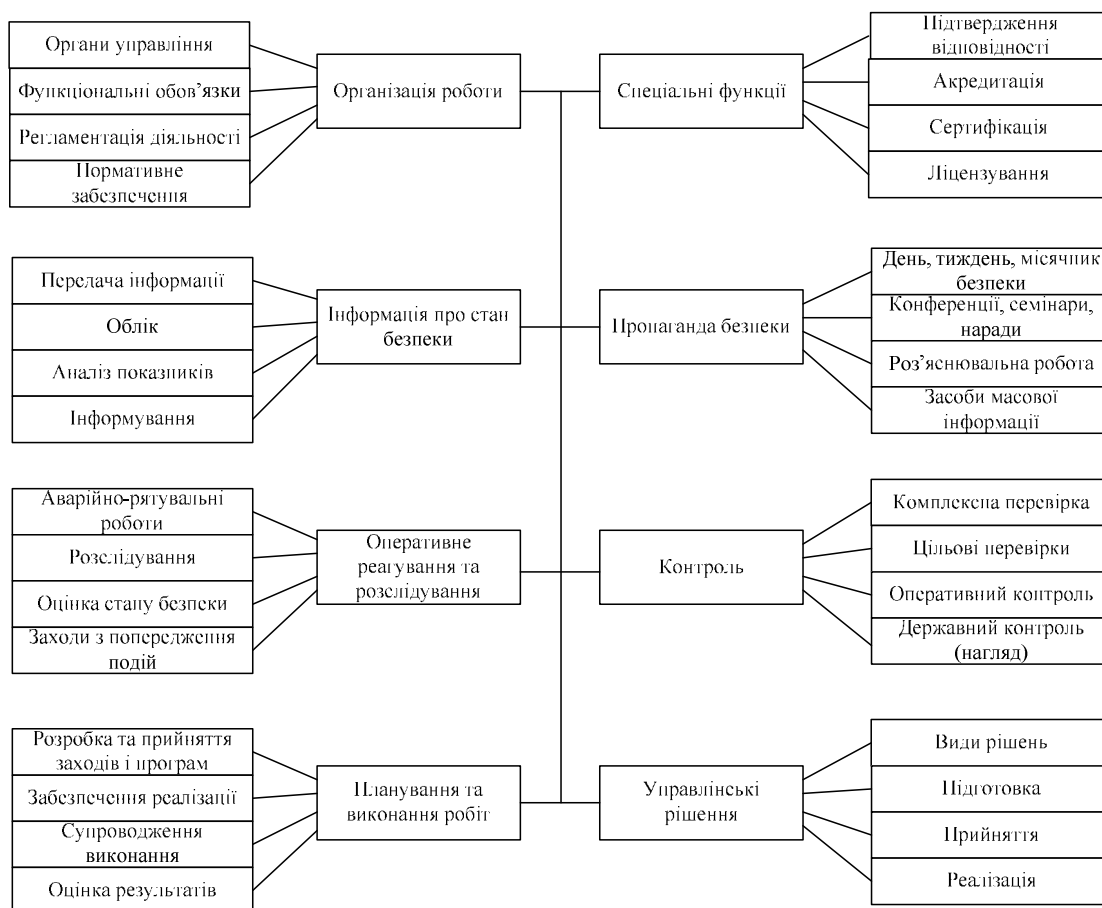


Рисунок 8.4 - Функції управління

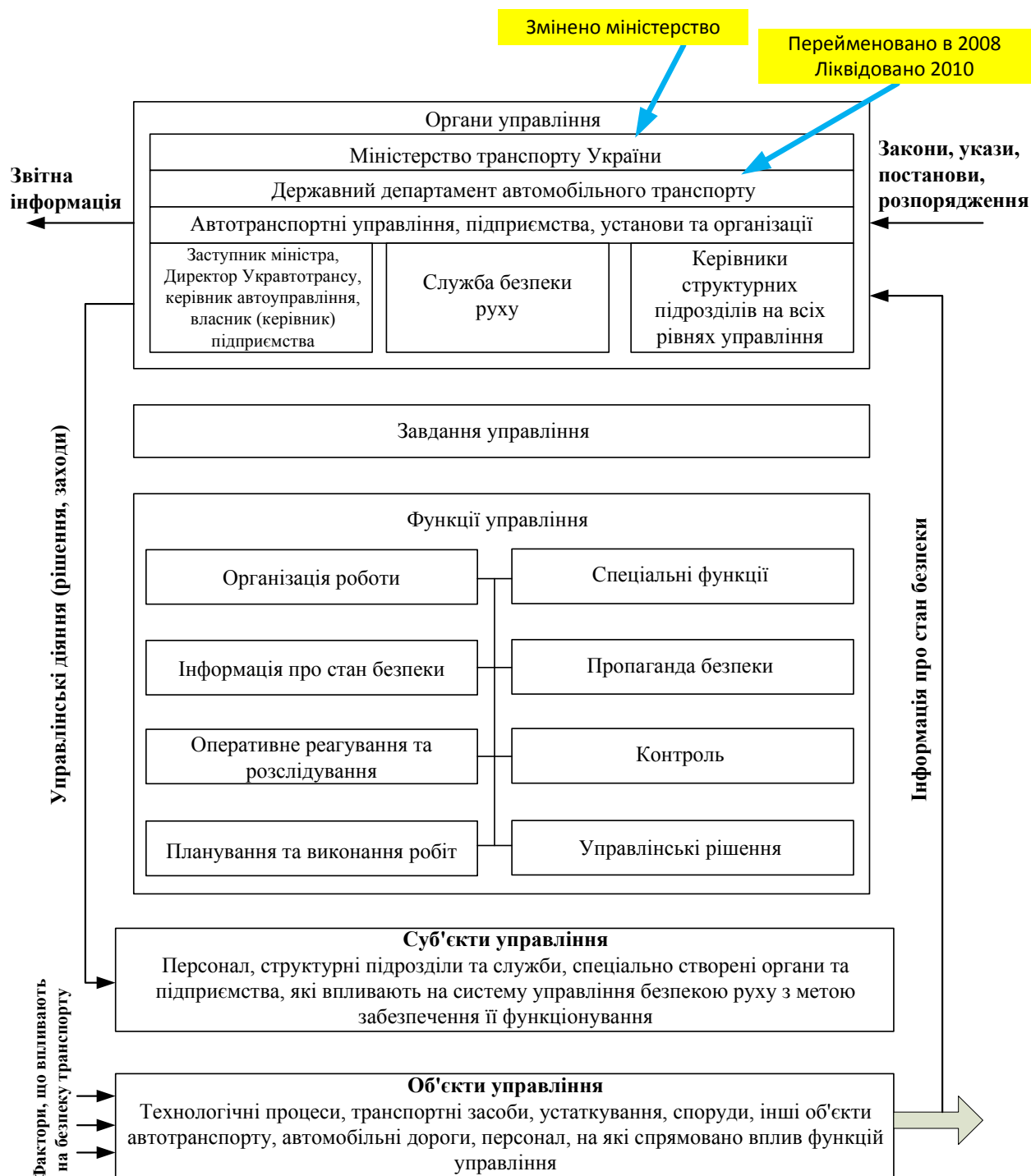


Рисунок 8.5 - Структурно-функціональна схема управління безпекою руху автотранспорту

Сформовані та діючі документи щодо УБДР не забезпечують належного рівня безпеки на дорогах України. Управлінські органи продовжують роботу по підвищенню безпеки, в тому числі і залучаючи провідних вчених інших країн з успішним досвідом побудови та удосконалення систем УБДР. Одним з таких проєктів є «Посібник. Система управління безпекою руху на автомобільному

Підхід «всевибачлива інфраструктура» [70], яка повинна попередити виникнення ДТП чи пом'якшити їх наслідки для всіх учасників (в тому числі незахищені, малозахищені). Саме такий підхід зафіксовано в Директиві ЄС 2008/96/ЕС [7]. Неогбхідно прагнути не до досконалого учасника руху, а до досконалих елементів управління дорожнім рухом (автомобілі, елементи інфраструктури, системи управління тощо). Директива Європарламенту по управлінню БДР включає чотири основних діяльності [71]:

- оцінка впливу на БДР (RIA);
- аудит БДР (RSA);
- ранжування БДР (RSR);
- інспекція БДР (RSI).

Саме на такому підході базуються побудова систем управління БДР більшості країн Європи. Використовуючи даний підхід вітчизняні вчені [72] запропонували своє бачення системи управління безпекою руху на автомобільних дорогах. Однак, слід відзначити, що запропонована в цій роботі структура системи не відповідає функціоналу СУБДР, яка враховує всіх учасників руху і державне управління, розвиток і контроль не тільки автомобільної дороги, та і транспортних засобів, технічних засобів регулювання дорожнього руху тощо. Тому вказана схема є більш алгоритмом (методикою) аудиту БДР ніж управлінням безпекою руху на автомобільних дорогах і, тим більш, не є структурою СУБДР.

Рівень якості СУБДР залежить від якості технічних засобів, кваліфікації і навичок фахівців, залучених в систему, якості організаційної роботи щодо управління безпекою дорожнього руху (рис. 8.7).

СУБДР повинна передбачати [73]:

- незалежне фахове аналізування причин ДТП, а не оперувати протоколами інспекторів;
- аналіз ефективності заходів зниження ризиків ДТП та аналіз втрат від ДТП;
- планування заходів на ближній/середньостроковий/довгостроковий термін;

- відповідальність центральних, регіональних та місцевих органів управління за стан БДР.

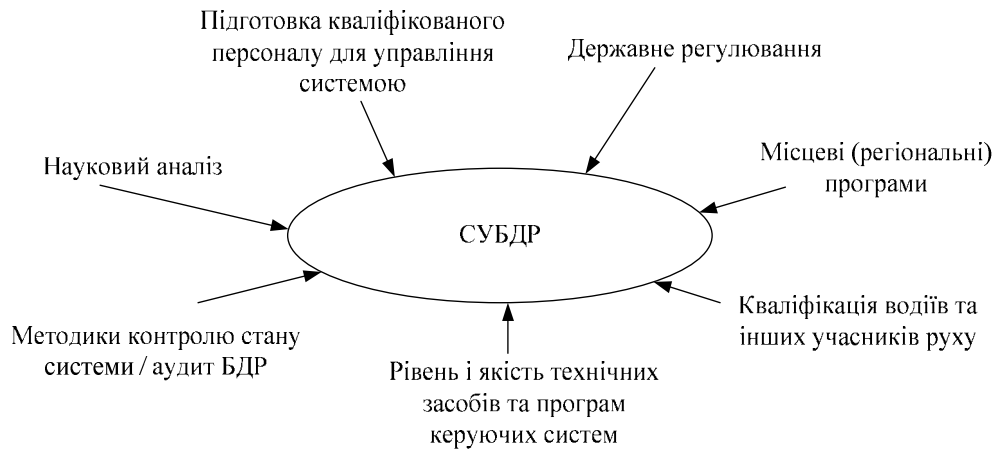


Рисунок 8.7 - Напрямки діяльності в межах системи УБДР

По результатам великого Європейського дослідження DaCoTA з питань безпеки дорожнього руху та побудови систем, що спрямовані на зменшення відповідних ризиків [74], сформовані вимоги до формування політики і УБДР в Європі. СУБДР можна представити наступними основними складовими: функції управління структурою, втручання, отримані результати (рис. 8.8).



Рисунок 8.8 - Система управління безпекою дорожнього руху [12]

Аналогічний підхід до побудови успішної СУБДР запропоновано в дослідженні США по країнам БРІК [75]. Така система повинна базуватись на взаємозв'язку основних трьох елементах: інституційні функції управління, втручання, результати (рис. 8.9).



Рисунок 8.9 - Структура успішної СУБДР [14]

Дана структура повинна послідовно функціонувати на різних рівнях з найвищого до найнижчого: державний, регіональний, міський, організацій. А оцінка реакції системи на різні дії і зміну різних параметрів функціонування повинна здійснюватись послідовно в зворотньому порядку, з нижнього до найвищого. У загальному вигляді процеси/організації/завдання управління безпекою дорожнього руху можна представити узагальненими блоками (рис. 8.10).

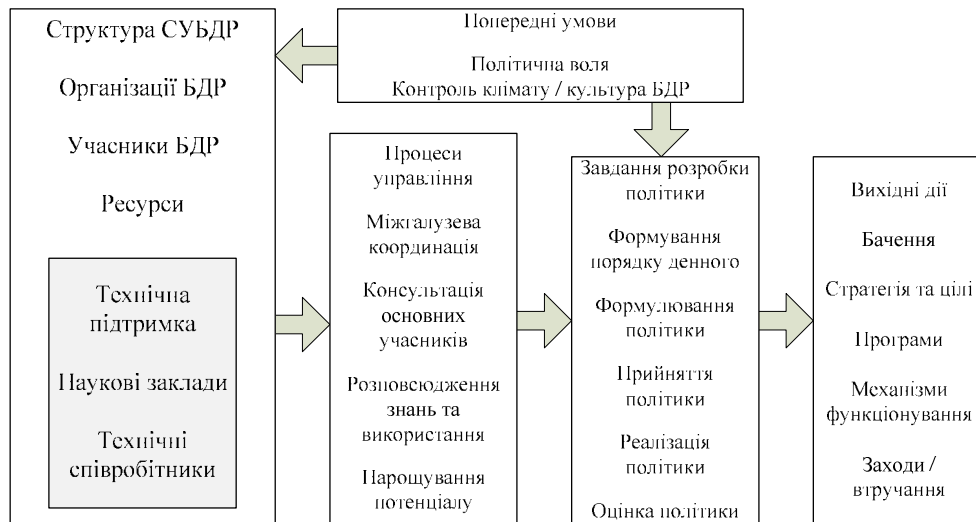


Рисунок 8.10 - Управління безпекою дорожнього руху [11]

Європейська практика побудови систем управління БДР базується на підході до управління по «4 Р» [67]:

- Філософія (Philosophy):

- усвідомлення загроз;
- встановлення стандартів;
- відповідальність кожного;

- Політика (Policy):

- відповідальність;
- організаційні процеси;
- розвиток навичок і знань;

- Процедури (Procedures):

- вказівки для персоналу;
- засоби планування, організації, контролю;
- здійснення моніторингу;

- Практичне втілення (Practical embodiment):

- дотримання процедур;
- дотримання концепції (не зважаючи на складність);
- вжиття дій у разі виявлення загрози.

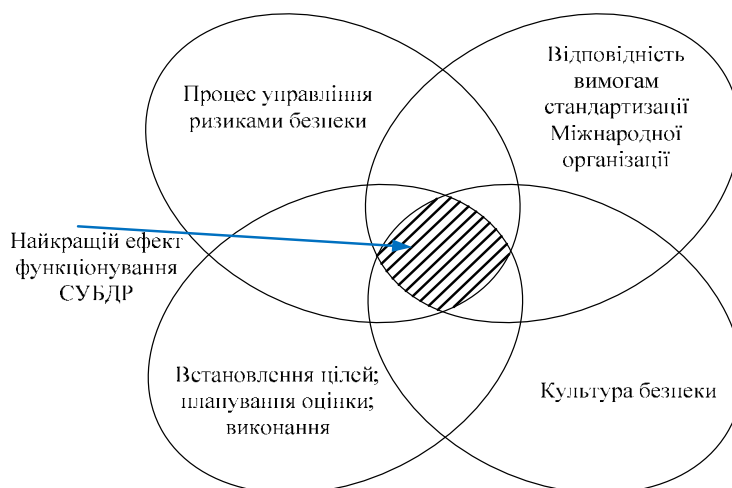


Рисунок 8.11 - Діаграма Ейлера-Венна функціонування СУБДР

В результаті аналізу структур СУБДР в різних країнах (Польща, Португалія, Бразилія, Росія, Сербія, Франція, Ізраїль, Австралія, США) та їх функціонування можна виділити основоположні вимоги до сталого функціонування системи.

Першою такою вимогою є повнота, оперативність та доступність даних про ДТП та їх особливості для персоналу різних організацій, що виконують різні функції в СУБДР. Для збору та обробки відповідної інформації про ДТП в роботі [73] запропоновано формувати спеціальний «бюлетень», який враховує чіткі характеристики події, місць ДТП та їх учасників. При цьому необхідно мінімізувати перелік параметрів, що визначаються «бюлетенем», з урахуванням потреб та вимог всіх організацій, які включені в СУБДР. На даному етапі пропонується:

- створення надійної із зрозумілим інтерфейсом програмного середовища введення даних з «бюлетеней» ДТП;
- агрегування даних;
- побудова ієрархії втручання.

Побудова ієрархії втручання може базуватись на різних критеріях. Основними з них є:

- співвідношення витрат на реалізацію заходів до можливих втрат від бездіяльності;
- рейтинг за схильністю до ризику (частота);

- рейтинг по рівню небезпеки (тяжкість);
- рейтинг за інтенсивністю користування ділянкою аварійності.

Перший критерій може об'єднати решту, але при цьому може бути складним для розрахунку, оскільки повинна існувати єдина система визначення соціально-економічних витрат від ДТП та витрат на реалізацію заходів. На сьогодні в Україні подібна система оцінки втрат не існує, хоча і є складовою «Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року». В більшості країн Європи така оцінка існує. Наприклад в Португалії обсяги соціально-економічних втрат від ДТП складають [74]:

- за смерть у ДТП – 125000 євро;
- за травму у ДТП – 17000 євро.

Для ефективного використання наведених критеріїв ієрархії втручання важливим є наповнення бази знань ефективності заходів з підвищення БДР. Це повинно формувати адекватні дії в СУБДР та подальшої практики її використання (самообслуговування).

Другою вимогою до ефективної СУБДР є «орієнтація на результат» [68]. Дана вимога сприяє встановленню ефективної системи управління БДР, оскільки на етапі розробки завдання формує критерії ефективності її функціонування та встановлює вимоги до відповідальності відповідних залучених організацій.

В наслідок реформи ряду державних структур (МВС, МОЗ, Мін. Транс., Укравтодор тощо) зазнала змін і структура системи УБДР.

Одним з напрямків що зазнав зміни – це система аналізу аварійності, порядок реєстрації, збору, зберігання та дослідження показників аварійності на автомобільному транспорті. Дестабілізація системи взаємодії організацій що опікуються безпекою на дорогах, яка виражається відсутністю чіткої методики збору та обробки і аналізу відповідної інформації про ДТП, негативно впливає на функції всієї системи.

Кожна система в процесі роботи повинна адаптуватися до зміни умов функціонування. Для цього вона повинна володіти апаратом дослідження, аналізу та прогнозування параметрів стану системи та визначення критеріїв ефективності її роботи. В СУБДР в існуючому стані такий апарат відсутній, або

частково замінений процедурами зовнішнього аналізу результатів її функціонування.

Основною внутрішнього апарату аналізу та науково-аналітичного прогнозування параметрів ефективності функціонування СУБДР може (повинен) стати науковий потенціал держави, який сконцентровано в науково-дослідних та науково-освітніх центрах. До таких установ можна віднести ХНАДУ, ДерждорНДІ, НТУ, НДЕКЦ, ВООЗ, Червоний хрест та інші.

Створення ефективної структури СУБДР неможливо без залучення висококваліфікованих спеціалістів у відповідних галузях знань.

На теперішній час в Україні не існує кваліфікаційних вимог до претендентів на посади в структурі СУБДР (голів та співробітників відповідних відділів на всіх рівнях системи управління: державному, регіональному, на рівні підприємств тощо), що призводить до призначення на посади фахівців які не розуміються на питаннях БДР. Це наносить суттєву шкоду всій системі в питаннях планування мобільності населення, планування закупівель відповідних робіт чи досліджень, контролю виконання робіт з організації безпечного руху всіх учасників дорожнього руху.



Рисунок 8.12 - Складові удосконалення системи державного управління у сфері БДР [73]

Стан СУБДР України, точніше її відсутність та стан безпеки руху в країні вказують на необхідність радикальних та чітких дій щодо формування (удосконалення) чіткої структури з відповідним підпорядкуванням, завданнями, відповідальністю та підходами. Цей процес можливо організувати шляхом іноваційної вітчизняної діяльності із залученням фахівців провідних

зацікавлених установ та організацій, або застосуванням сучасного досвіду країн-лідерів з безпеки дорожнього руху – «Бенчмаркінгу». Другий підхід, на наш погляд, є більш оперативним та, з урахуванням порівняння показників України та країн-лідерів, є дуже привабливим з позиції ефективності функціонування СУБДР. «Бенчмаркінг» не є новим підходом в удосконаленні безпеки дорожнього руху в світі [74], однак в Україні відповідних досліджень не опубліковано.

Основними етапами (шаблями) цього процесу є [75]:

- встановити «бенчмаркінг» проекту (що розглядаємо);
- вибір команди та тренінг/підготовка (підбір експертів);
- визначення процесів для порівняння;
- проведення аналізу своїх процесів;
- вибір партнерів/донорів «бенчмаркінгу» (підбір відповідних процесів/систем);
- налагодження відносин та проведення зустрічей;
- аналіз стану та розробка стратегій покращення.

Даний підхід є досить поширений, але не загальновизнаний, тому при визначенні підходу до удосконалення (побудови) СУБДР слід обирати підхід до якого готова країна, регіон, місто, підприємство. Одним з альтернатив «бенчмаркінгу» є SWOT-аналіз.

9 ФОРМУВАННЯ БАЗИ МОДЕЛЕЙ ЗМІНИ ІНТЕНСИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЦЯХ МІСТА РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ

Досить тривалий час проблема автомобільного руху є головною для великих міст нашої країни. Транспортні затори на дорогах стають причиною не тільки часових, а й економічних та народногосподарських витрат. Тому питання управління дорожнім рухом (ДР) стає вельми актуальним у дійсний час. Вирішенню цієї проблеми сприяє розвиток систем управління дорожнім рухом, що впливає на комунікаційну функцію сталого розвитку міста. Дорожній рух розглядаємо як сукупність транспортного потоку (ТП), пішохідного потоку (ПП) та вулично-дорожньої мережі (ВДМ).

Основна мета впровадження автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР) полягає у підвищенні пропускної спроможності ВДМ при забезпеченні необхідного рівня безпеки учасників дорожнього руху.

У зв'язку з цим виникає необхідність оперативного реагування на мінливі зовнішні умови руху, на коливання параметрів ТП (інтенсивності та швидкості), що впливають на зміну рівнів завантаження ВДМ міста. Ефективне управління ДР у таких складних умовах повинно забезпечувати завантаження ВДМ із урахуванням її пропускної спроможності на підставі організації рівномірного руху ТП, тоді, як саме при цьому режимі руху соціальні, екологічні та економічні критерії ефективності мають оптимальне значення.

Незважаючи на те, що розрахункова величина пропускної спроможності вулиць і доріг є нормативним параметром, при проектуванні ВДМ в процесі ДР вона стає величиною змінною і залежить від кліматичних умов, ремонтних робіт та від інших надзвичайних ситуацій, зокрема дорожньо-транспортних пригод (ДТП), також як і нерівномірність інтенсивності ТП. На підставі цього, мета управління і завдання збільшення пропускної здатності зводиться до забезпечення балансу між реальною пропускною спроможністю ВДМ і інтенсивністю ТП.

На підставі сформульованого завдання підвищення пропускної спроможності ВДМ як визначення балансу між пропускною спроможністю і інтенсивністю ТП, припускаємо, що за допомогою транспортної моделі ВДМ можна визначити діапазон зміни інтенсивності при якій пропускна здатність буде оптимальною.

Така постановка задачі істотно змінює підхід до розробки алгоритмів управління і, власне, моделей на яких вони засновані.

До основних проблем, які формують шляхи вирішення поставленого завдання можна віднести:

- поява заторових ситуацій на ВДМ і їх еволюція;
- виникнення черги на проїзд перехресть зі світлофорним регулюванням;
- забезпечення оптимальної швидкості руху транспортного потоку по вулицях міста різної категорії;
- забезпечення функціонування в працездатному стані транспортної мережі міста.

Повне або часткове вирішення описаних проблем дозволить здійснити проектування систем управління дорожнім рухом нового покоління або вдосконалити існуючі.

Для управління ДР на транспортній мережі міст в усьому світі використовуються системи управління, алгоритми функціонування яких засновані на моделях транспортних потоків. При цьому вимоги до точності і адекватності моделей досить високі. Транспортне моделювання дозволяє вирішувати завдання проектування нових і модернізації існуючих систем управління і схем організації дорожнього руху, а також усувати надзвичайні ситуації на ВДМ.

Вибір типу технології управління залежить від постановки завдання і цілі управління ДР. Проведений аналіз математичного забезпечення відомих в світі систем управління [85, 86], показав, що воно засноване на реалізації макро- та мікромоделей взаємозалежності основних параметрів ТП та параметрів руху окремих транспортних засобів.

На даний час накопичилася величезна кількість матеріалів, присвячених транспортній проблемі, які реферуються в таких відомих наукових журналах як «Transportation Research», «Physical Review E», «Review of modern physics», «Transportation Science», тощо.

Незважаючи на те, що понад півстоліття провідні відомі фахівці в галузі математичного моделювання ДР інтенсивно працюють в цьому напрямку, проблема передзаторового і заторового режимів руху ще до кінця не вивчена [87] і є основною при управлінні ДР у великих містах.

Основу моделювання ТП становлять макро- і мікромоделі: перші макроскопічні моделі (гідродинамічні), в яких транспортний потік розглядається подібним потоку стисливої рідини (М. Лайтхілл і Дж. Уїзем, П. Річардс (LWR)) [88] і перші мікроскопічні моделі (слідування за лідером), які описують рух кожного автомобіля (А. Рьошель, Л. Пайнс) [89]. В моделі LWR наводиться опис функціональної залежності (рівняння стану) між інтенсивністю потоку (N), швидкістю (V) і щільністю (q):

$$N = V \cdot q. \quad (9.1)$$

Цю залежність називають основним рівнянням транспортного потоку, так як вона дозволяє не тільки визначати параметри ТП, а й межі переходу ТП з одного стану в інший (вільний — синхронізований — стислий), що дозволило обґрунтувати і визначити рівні завантаження ВДМ [90]: вільний рух (автомобілі рухаються у вільних умовах, взаємодія між автомобілями відсутня); частково зв'язаний рух (автомобілі рухаються групами, виникає багато обгонів); зв'язаний рух (в потоці ще існують великі інтервали між автомобілями, обгони ускладнені); насичений рух (суцільний потік автомобілів, що рухається з малими швидкостями); щільний рух, насичений (потік рухається з зупинками, виникають затори).

Основні емпіричні властивості переходу до щільного ТП, згідно [91] полягають у наступному:

– перехід до щільного транспортного потоку є переходом F-S (free flow — synchronized flow), тобто від вільного до синхронізованому потоку;

– перехід F-S може бути як спонтанним так і викликаним зовнішнім обуренням близько одного і того ж місця на дорозі — «вузького місця».

Тому, згідно з [92] наявні моделі щільного потоку можна розділити на 2 класи:

а) моделі типу LWR, в яких перехід до щільного транспортного потоку, виникає не в результаті нестійкості, а за рахунок існування точки, в якій досягається максимум інтенсивності на фундаментальній діаграмі;

б) моделі типу «Дженерал Моторс» (ДМ), в якій перехід до щільного потоку пов'язаний з нестійкістю модельних рішень близько критичної щільності транспортного потоку. Детальний огляд цього класу моделей наведено в [93].

Моделі LWR-типу не дозволяють описати параметри щільного потоку (права сторона діаграми), моделі ДМ-класу дають можливість окреслити параметри руху транспортного потоку при підвищеній щільності з урахуванням нестійкості його параметрів (ліва частина фундаментальної діаграми) [94].

До таких параметрів належать наступні:

- швидкість поширення «ударних хвиль», які виникають назустріч руху ТП;
- максимальна щільність ТП (бампер до бампера);
- критична щільність ТП при максимальній інтенсивності ТП.

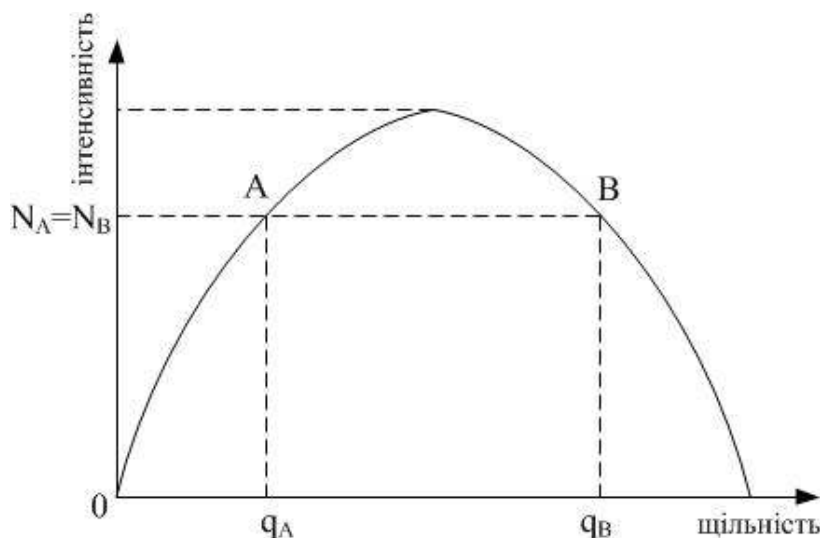
Тому залежність (9.1) не є безперервною і має складну структуру з двох гілок, і як наслідок цього форма фундаментальної діаграми має декілька представлень — трапецієподібну, трикутну і складну — нелінійну справа і розірвану зліва в точках, де змінюється рівень завантаження дороги, тобто в точках де відбуваються скачки зміни щільності транспортного потоку [95].

На підставі проведеного аналізу методів та моделей залежності основних параметрів ТП, для практичного транспортного моделювання необхідно обрати таку форму основної залежності параметрів ТП, яка дозволить визначити характеристичні параметри та побудувати фундаментальну діаграму на емпіричних даних перегонів діючої ВДМ міста.

Формування керуючого впливу при управлінні ДР можливо лише при наявності інформації щодо параметрів транспортних і пішохідних потоків та характеру дорожніх умов, у яких відбувається рух. На основі досліджень та організації дорожнього руху вироблені численні показники та критерії для його опису, проте досі немає єдиного загальновизнаного комплексу характеристик. До найбільш часто застосованих параметрів дорожнього руху відносяться: інтенсивність руху, склад ТП, щільність потоку транспортних засобів, швидкість руху, тривалість затримок руху. Коливання інтенсивності руху ТП призводить до негативних наслідків на ВДМ, таким як затримки транспортних засобів, ДТП, забруднення повітряного басейну, підвищений рівень шуму, додаткові витрати палива. Інтенсивність впливає на всі ці параметри, причому зі збільшенням інтенсивності її негативний вплив посилюється, коли фактична інтенсивність руху ТП на ВДМ наближається до максимально можливої. Тобто інтенсивність руху ТП є первинним параметром при дослідженні процесу ДР, тоді як він є основним елементом в транспортній системі міста. Інші ж параметри є вторинними або похідними і фактично відображають умови та режими дорожнього руху.

Для дослідження параметрів ТП, які дозволяють враховувати коливання інтенсивності транспортних потоків пропонуємо побудову фундаментальних діаграм для перегонів ВДМ, на яких виникають ускладненні режими руху.

Основними труднощами і обмеженнями при виборі способу побудови фундаментальної діаграми є недостатній обсяг даних для моделей вищого порядку, що обмежує їх практичне застосування. На підставі цього вважаємо, що модель LWR і її відомі аналоги добре підходять для управління ДР (рис. 9.1).



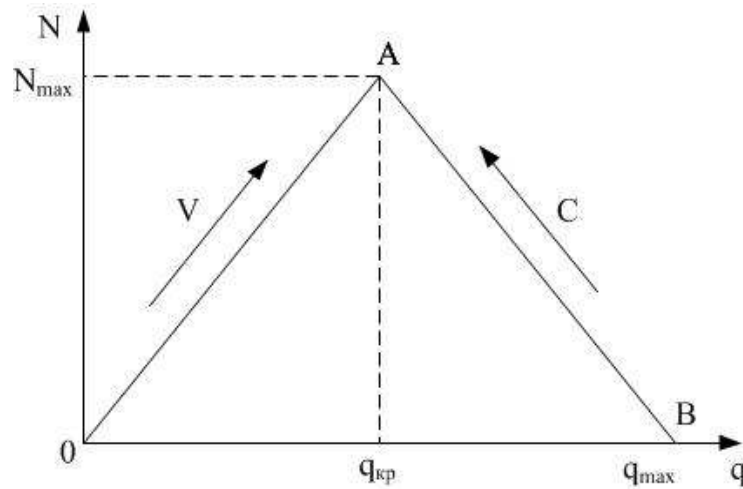
N_A, N_B – інтенсивність ТП відповідно у точках A і B ; q_A, q_B – щільність ТП відповідно у точках A і B .

Рисунок 9.1 – Фундаментальна діаграма ТП

З фундаментальної діаграми випливає, що одному і тому ж значенню інтенсивності відповідають різні щільності ($q_A < q_B$) і, як наслідок, різні швидкості ($V_A > V_B$). Причому V_A відповідає швидкості ТП без перешкод, а V_B зменшується, тому що зі збільшенням щільності ТП виникає «ударна хвиля», яка спрямована назустріч руху основного потоку, зменшуючи його швидкість. Отже, параметр «швидкість ударної хвилі» має істотний вплив на параметри ТП і вимагає визначення при побудові фундаментальної діаграми. На підставі наведених доводів ми вважаємо, що трикутна форма діаграми найбільш застосовна до практичних досліджень.

При виборі форми фундаментальної діаграми ми керувалися досвідом вчених Барклієвої групи [96] в управлінні дорожнім рухом (рис. 9.2).

Коли транспортний потік рухається в вільному режимі, щільність і інтенсивність прагнуть до максимуму і визначають точку A , отже ліву частину діаграми можна описати рівнянням $N_{\max} = V \cdot q_{кр}$.



V – швидкість ТП; C – швидкість ударної хвилі.

Рисунок 9.2 – Трикутна форма діаграми ТП

Точка $B (q_{\max}, 0)$ відповідає максимальній щільності потоку при тому, що інтенсивність і швидкість рівні 0. Тоді праву частину діаграми можна побудувати виходячи із залежності

$$N_{\max} = c(q_{\max} - q_{kp}). \quad (9.2)$$

Отже, визначаючи координати точки переходу правої частини діаграми в ліву частину діаграми, можна отримати рівність:

$$V \cdot q_{kp} = c(q_{\max} - q_{kp}). \quad (9.3)$$

Дані вимірювань в лівій частині фундаментальної діаграми (в зоні вільного руху) можуть бути апроксимовані прямою лінією, в той час як дані в правій частині фундаментальної діаграми (в зоні ускладненого руху) мають значний розкид. Цей розкид залежить від розбіжностей вимірювання інтенсивності і швидкості транспортного потоку, що створює відповідну невизначеність фундаментальної діаграми. Тоді справедливо припущення, що значення інтенсивності вхідних потоків знаходяться в інтервалі $N_{\text{вх}}^- \leq N_{\text{вх}} \leq N_{\text{вх}}^+$; значення

максимальної пропускної здатності – в інтервалі $P^- \leq P_{расч} \leq P^+$ і, відповідно щільність – $q^- \leq q \leq q^+$, а швидкість вільного руху відома ($V_{св}$) (рис. 9.3).

Наявність розбіжностей виміру визначає наявність верхньої межі параметрів (гіршого) (+) і нижньої межі параметрів (кращого) варіанту (-) зміни інтенсивності і щільності ТП.

При цьому діапазон зміни критичної щільності $q_{кр}$ можна визначити як

$$q_{кр}^+ = \frac{N_{ex}^+}{V_{св}}; \quad q_{кр}^- = \frac{N_{ex}^-}{V_{св}} \quad (9.4)$$

В свою чергу, швидкість поширення ударної хвилі з урахуванням невизначеності можна визначити наступним співвідношенням:

$$c^- = \frac{N_{ex}^-}{q_{кр}^- - \frac{N_{ex}^-}{V_{св}}}; \quad c^+ = \frac{N_{ex}^+}{q_{кр}^+ - \frac{N_{ex}^+}{V_{св}}}, \quad (9.5)$$

де c – швидкість «ударної хвилі».

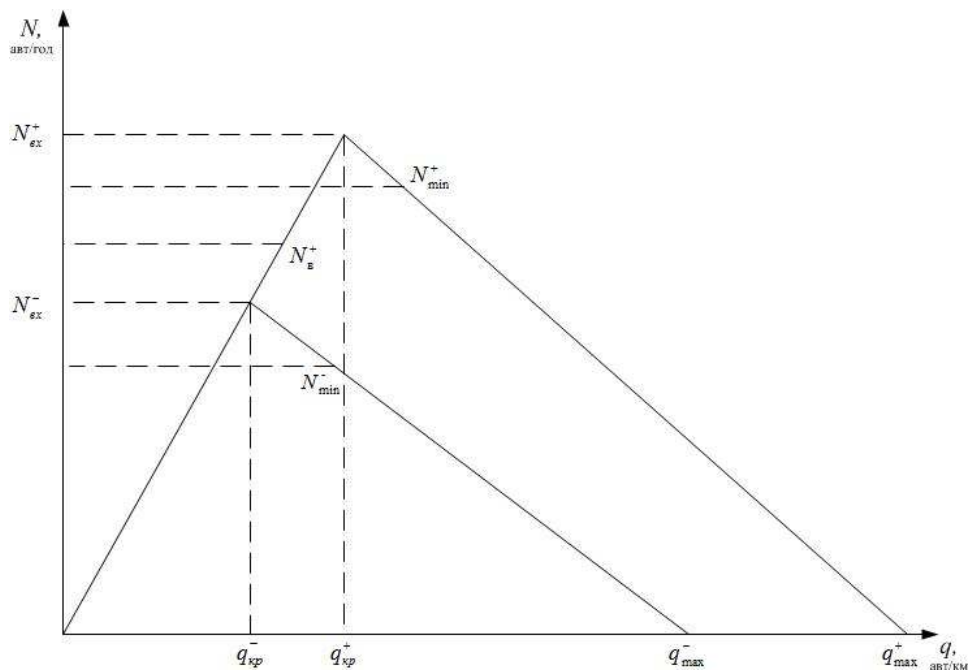


Рисунок 9.3 – Трикутна фундаментальна діаграма ТП

Концентрація транспортних засобів, що виникає в щільному потоці, утворює «ударні хвилі», які рухаються назустріч основному потоку і впливають на зміну основних параметрів ТП, тому інтенсивність ТП з урахуванням параметрів «ударної хвилі» в потоці визначається як

$$N_{\min}^{-} = (V_{cv} - c^{-}) \cdot q_{кр}^{-} ; \quad N_{\min}^{+} = (V_{cv} - c^{+}) \cdot q_{кр}^{+} \quad (9.6)$$

На основі запропонованого підходу, послідовність побудови фундаментальної діаграми транспортного потоку набуває вигляду.

Формуємо схему ділянки транспортної мережі із визначенням відповідних топологічних параметрів (довжина $l_{пер}$ та ширина перегону).

Визначаємо інтенсивність ТП на ділянці або методом натурних спостережень, або за допомогою детекторів транспорту при цьому максимальна інтенсивність це N_{ex}^{+} , а мінімальна N_{ex}^{-} .

Визначаємо щільність ТП ($q_{\max}^{-}$), як максимальну кількість автотransпортних засобів (АТЗ), які розташовані на перегоні на підставі відомих значень середньої довжини АТЗ (l_a) та дистанції безпеки ($l_{без}$)

$$q_{\max}^{-} = \frac{l_{пер}}{l_a + l_{без}} \cdot n \quad (9.7)$$

де n – кількість смуг руху.

При визначені $q_{\max}^{+}$ враховується, що дистанція безпеки $l_{без}$ між АТЗ у щільному потоці зменшується майже вдвічі.

По рис. 9.3 обираємо нормативні значення швидкості руху (V_{cv}) та інтенсивності транспортного потоку, що дорівнює пропускній спроможності ділянки ($P = N_{\max}$) відповідної категорії міських вулиць та доріг.

На підставі залежності (9.4) визначаємо критичне значення щільності ТП ($q_{кр}^+; q_{кр}^-$) для максимальної та мінімальної інтенсивності ТП.

Визначаємо швидкість «ударної хвилі» (с) для обох варіантів зміни інтенсивності за залежністю (9.5).

Тоді максимальну інтенсивність для кращого варіанту дорожнього руху на перегоні (N_{ε}^+) можливо визначити за залежністю:

$$N_{\varepsilon}^+ = V_{св} \cdot q_{кр}^+ \quad (9.8)$$

де $q_{кр}^{\pm}$ – середнє значення критичної щільності ТП для кращого та гіршого випадків.

Мінімальна інтенсивність ТП для кожного випадку (крива у правій частині діаграми) ($N_{\min}$) залежить від швидкості «ударної хвилі», тому її значення визначимо за залежністю (9.6).

На підставі проведених розрахунків отримали діапазон зміни інтенсивності ТП, що визначає сприятливі умови дорожнього руху та забезпечує оптимальну продуктивність ВДМ, який визначається як $N_{\min}^- - N_{\min}^+$.

Таким чином можна отримати кількісний діапазон зміни інтенсивності ТП для кожного типу міських вулиць та доріг, що надасть змогу у реальному часі при вимірі поточної інтенсивності дієвий інструмент оцінки поточної ситуації на ВДМ за коефіцієнтом завантаження дороги рухом. А у разі необхідності це можливо розглядати, як інформацію щодо зміни керуючих впливів на ДР для зменшення поточної інтенсивності ТП.

Для експериментальних досліджень визначення параметрів фундаментальної діаграми було обрано вул. Асхарова, що є ділянкою магістральної вулиці загальноміського значення м. Харків (рис. 9.4).

За результатами проведених натурних спостережень маємо наступні вихідні дані. Інтенсивність руху транспортного потоку на ділянці максимальна

$N_{6x}^+ = 1638$ авт./год та мінімальна $N_{6x}^- = 966$ авт./год, довжина ділянки 900 м, кількість смуг руху 2 од.

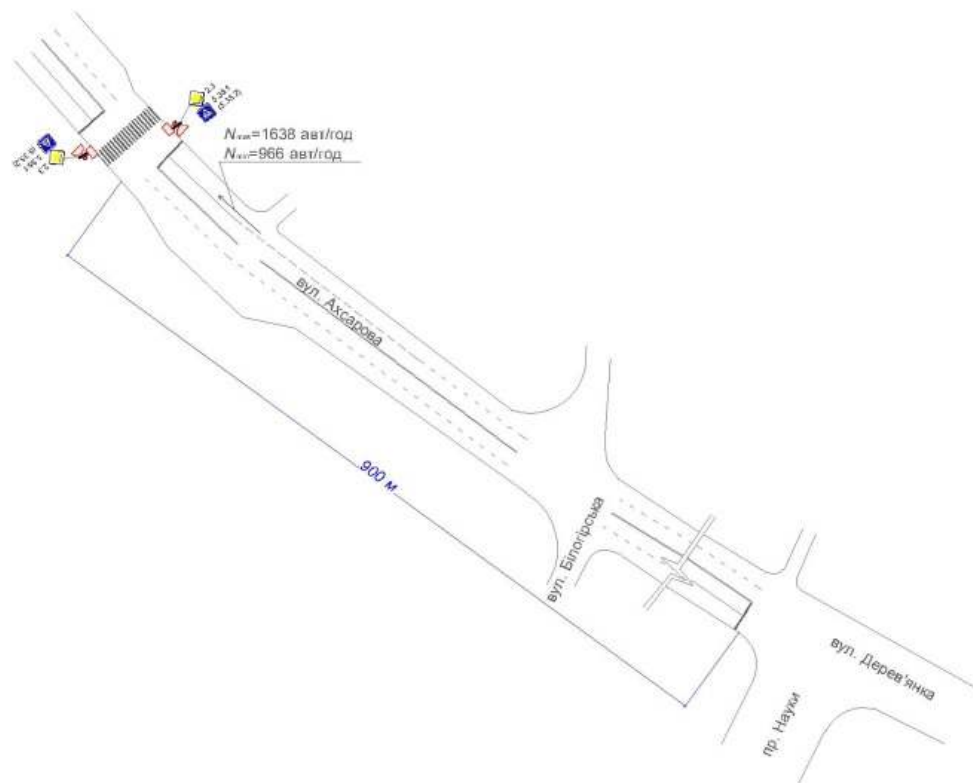


Рисунок 9.4 – Схема ділянки вул. Ахсарова

Так як ділянка відноситься до магістральних вулиць загальноміського значення регульованого руху обираємо відповідно категорії вулиці параметри ділянки: швидкість руху $V_{св} = 50$ км/год, максимальна пропускна здатність ВДМ $P = N_{max} = 1400$ авт./год. Визначимо q_{max} як максимальну кількість автомобілів які можуть розміститися на перегоні ($l_{пер}$) виходячи з значень середньої довжини автомобіля (l_a) $l_a = 5$ і дистанції безпеки ($l_{без}$) $2 < l_{без} < 4$ за залежністю (9.7)

$$q_{max}^+ = \frac{900}{5 + 2} \cdot 2 = 258 \text{ авт/км};$$

$$q_{max}^- = \frac{900}{9} \cdot 2 = 200 \text{ авт/км}.$$

Надалі визначаємо критичну щільність ТП на ділянці ВДМ для гіршого та кращого варіантів, як відношення інтенсивності до швидкості (9.4)

$$q_{кр}^+ = \frac{1638}{50} = 33 \text{ авт./км}; \quad \text{та} \quad q_{кр}^- = \frac{966}{50} = 19 \text{ авт./км.}$$

Після проведених розрахунків середнє значення критичної щільності складає

$$q_{кр}^{\pm} = \frac{19 + 33}{2} = 26 \text{ авт./км.}$$

Для визначення діапазону зміни інтенсивності ТП, що відповідає оптимальному режиму руху ТП розрахуємо швидкість «ударної хвилі» за залежністю (9.5)

$$c^- = \frac{966}{200 - \frac{966}{50}} = 5,3 \text{ км/год},$$

$$c^+ = \frac{1638}{258 - \frac{1638}{50}} = 7,3 \text{ км/год.}$$

Тоді за (9.6) визначаємо верхню та нижню границю значень інтенсивності ТП, додержання яких забезпечить ефективне функціонування ділянки ВДМ

$$N_{\min}^- = (50 - 5,3) \cdot 19 = 849 \text{ авт/год},$$

$$N_{\min}^+ = (50 - 7,3) \cdot 33 = 1409 \text{ авт/год.}$$

Максимальну інтенсивність для кращого варіанту дорожнього руху на перегоні (N_e^+) визначаємо за залежністю (9.8)

$$N_e^+ = 50 \cdot 26 = 1300 \text{ авт/год.}$$

За результатами розрахунків будуємо фундаментальну діаграму зміни щільності ТП від інтенсивності для ділянки вул. Ахсарова (рис. 9.5).

Отже для забезпечення оптимального рівня обслуговування на ділянці вул. Ахсарова при управлінні ДР, необхідно контролювати значення інтенсивності руху транспорту в межах від 849 до 1409 авт./год.

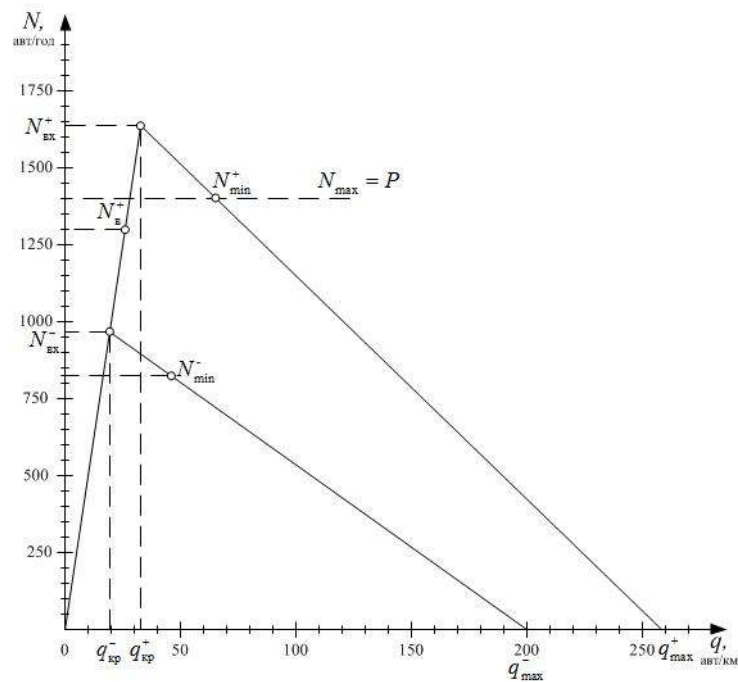


Рисунок 9.5 – Фундаментальна діаграма транспортного потоку для ділянки вул. Ахсарова

Для перевірки адекватності моделі були розраховані значення $N_{\max}$ за формулами (9.2) та (9.3).

Отриманий результат свідчить, що похибка розрахунків параметрів ТП, яка складає 2 %, відповідає прийнятим нормам ($1200 \approx 1225$).

Таким чином, на підставі сформованої методики визначення параметрів фундаментальної діаграми транспортного потоку доведено теоретичні засади транспортного моделювання до практичного застосування на ділянках транспортної мережі міста із виміром поточних параметрів методом натурних спостережень.

Результат наведених теоретичних досліджень полягає у розробці методики для практичного визначення параметрів трикутної фундаментальної діаграми, що можливо побудувати для складних ділянок вулично-дорожньої мережі міста, на яких необхідно проводити контроль та регулювання інтенсивності транспортного потоку, щоб попередити виникненню заторового стану вулично-дорожньої мережі з метою забезпечення оптимальної пропускної здатності. Сукупність моделей руху транспорту по перегонах надасть змогу отримати динамічні транспортні моделі для подальшого застосування у процесі управління дорожнім рухом. Наявність визначеного діапазону зміни інтенсивності при порівнянні із поточними вимірами інтенсивності детекторами транспорту, дозволить при оперативному управлінні приймати рішення щодо зміни параметрів керуючих впливів, або зміни схеми організації дорожнього руху. Такий підхід при подальших дослідженнях надає змогу розробити системи підтримки прийняття рішень для оперативного управління дорожнім рухом у містах, що сприяє підвищенню ефективності дорожнього руху та працездатності транспортної мережі в цілому.

10 РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ РІВНЯ НЕБЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ І ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ЙОГО ЗНИЖЕННЯ

10.1 Визначення рівня інтегрального техногенного ризику на об'єктах досліджуваної вулично-дорожньої мережі

Спільне використання результатів статистичного та розрахункового експериментів дає основу для визначення величин аварійної та екологічної складової, а, отже, рівня інтегрального техногенного ризику транспортних потоків (ТП) в цілому для елементів опорної вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста [97]. При цьому для забезпечення узгодженості та оперативності практичного застосування методики оцінки небезпеки міських ТП збиток від прояву ризикових обставин, пов'язаних з екологічним навантаженням (ЕН) визначається при максимальному рівні ентропії на кожному елементі опорної ВДМ, тобто коли спостерігається максимальний рівень ЕН. Тоді на практиці при визначенні екологічної складової інтегрального техногенного ризику ТП можна прийняти $J = 1$.

Перевагою використання J при визначенні збитку від екологічної складової є врахування розмірів локальної соціальної системи міста, яка піддається позначеній ЕН. У цьому випадку окремий мікрорайон міста розглядається як ізольована локальна соціальна система, яка піддається ЕН з боку того чи іншого елемента опорної ВДМ і має своє значення параметра J .

10.2 Кількісна оцінка просторово-часової ємності транспортного потоку на об'єктах міської вулично-дорожньої мережі

Реалізація методики натурних досліджень складності режимів руху ТП забезпечила всі необхідні дані для розрахунку просторово-часової ємності ТП на різних елементах опорної ВДМ. Для забезпечення оперативності оцінки рівня

інтегральної небезпеки ТП величина його просторово-часової ємності визначалася за виразами.

Просторово-часова ємність ТП характеризує фактичний рівень його ентропії. Тому для отримання достовірної інформації про дані сторонах руху при розрахунку значення просторово-часової ємності ТП використана наведена інтенсивність руху, розрахунок якої базувався на коефіцієнтах приведення, зазначених у вітчизняних нормативних документах. Це дозволяє врахувати вплив складу ТП на рівень ентропії. Інтенсивність і склад ТП на перехрестях згідно з розробленою методикою не вимірюються, а оцінюються розрахунковим шляхом за імітаційної моделі руху автотранспортних засобів (АТЗ) в складі ТП.

Оскільки просторово-часова ємність ТП є лінійною характеристикою руху, то при її розрахунку враховувалася кількість рядів руху для визначення питомої наведеної інтенсивності. При цьому використовувалися дані про фактичну (отриману за результатами натурних спостережень) кількість рядів руху. Це пов'язано з випадками блокування правої смуги транспортними засобами на близько розташованих тротуарних стоянках [98].

10.3 Зв'язок просторово-часової ємності транспортного потоку з інтегральними показниками техногенного ризику

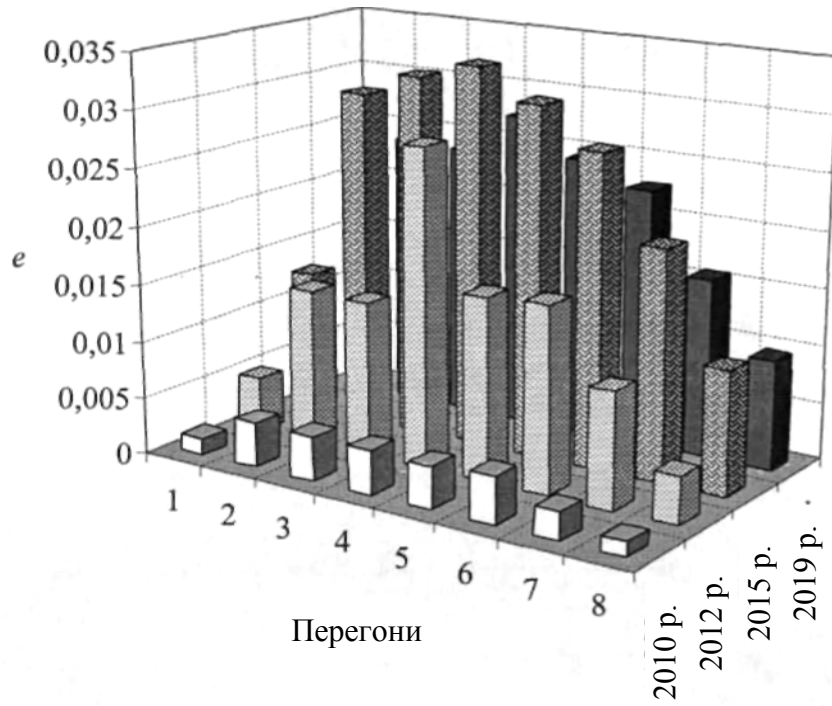
Виявлення характеру взаємозв'язку між просторово-часовою ємністю і інтегральним техногенним ризиком ТП здійснювалося на магістралях опорної ВДМ м. Харкова з використанням статистичної інформації з проведених комплексних експериментальних досліджень. У даний період ТП мали відносно невелику інтенсивність руху, що забезпечувало високу середню швидкість сполучення. Такий стан ТП характерний для лівої частини його основної діаграми, що відповідає вільним умовам руху. У таких умовах ентропія ТП має низький рівень. Як наслідок, спостерігається низький рівень інтегрального техногенного ризику ТП (рис. 10.1, б). При цьому отримані в таких умовах значення просторово-часової ємності ТП, не перевищують $0,01388 \text{ (м-с)}^{-1}$, що набагато нижче за гранично допустиму величину $0,0167 \text{ (м-с)}^{-1}$, просторово-

часової ємності ТП набагато вище, ніж на інших перехрестях, і на них отримані більш високі значення інтегрального техногенного ризику ТП порівняно з іншими вузлами (рис. 10.2).

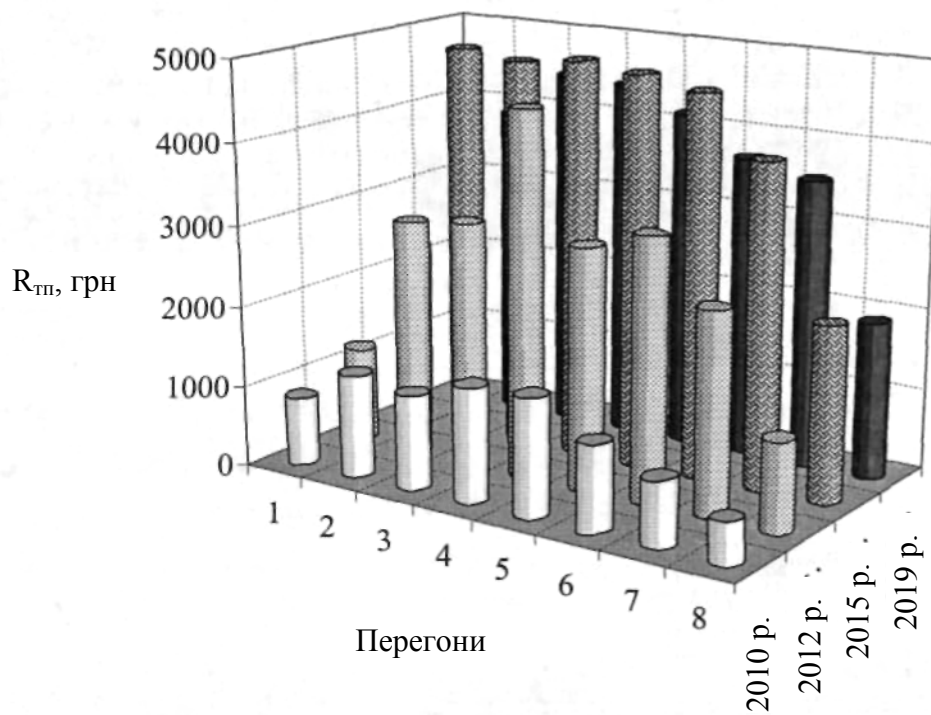
Однак у 2015 році в умовах постійного зростання автомобільного парку і відсутності своєчасних заходів щодо вдосконалення процесу функціонування ДТК спостерігається вже зворотна картина. Істотне зростання інтенсивності ТП на досліджуваних магістралях призвів до того, що на найбільш завантажених ділянках вона перевищила їх пропускну спроможність. Як наслідок, на них спостерігається різке падіння середньої швидкості повідомлення (до 3,23 м/с). Такі умови руху характерні вже для правої частини основної діаграми ТП, і тут можна очікувати максимального рівня ентропії і інтегрального техногенного ризику ТП як на перегонах, так і на перехрестях. Сформульовані висновки підтверджуються даними рис. 10.1 та 10.2, з яких видно, що у 2012 році спостерігається різке зростання просторово-часової ємності та інтегрального техногенного ризику ТП.

Виявлені тенденції з ускладнення режимів руху і збільшенням просторово-часової ємності з інтегральним техногенним ризиком ТП ще більш яскраво проявляються в 2012 році в умовах закриття проспекту Гагаріна на реконструкцію при перерозподілі ТП на ВДМ. Різке зниження просторово-часової ємності та інтегрального техногенного ризику ТП на проспекті пояснюється істотним обмеженням руху на період реконструкції.

Після відкриття в 2012 році проспекту Гагаріна для руху ТП, незважаючи на більш ніж дворазове збільшення інтенсивності ТП, поліпшення умов руху (по чотири смуги в кожному напрямку) дозволило знизити рівень ентропії ТП і просторово-часової ємності ТП на проспекті, яка складає $0,01382 \text{ (м}\cdot\text{с)}^{-1}$ (менше $0,0167 \text{ (м}\cdot\text{с)}^{-1}$). Це забезпечує прийнятний рівень інтегрального техногенного ризику ТП, рівний 2021,3 грн.



а)



б)

Рисунок 10.1 - Зміна просторово-часової ємності ТП (а) і інтегрального техногенного ризику ТП (б) по перегонах

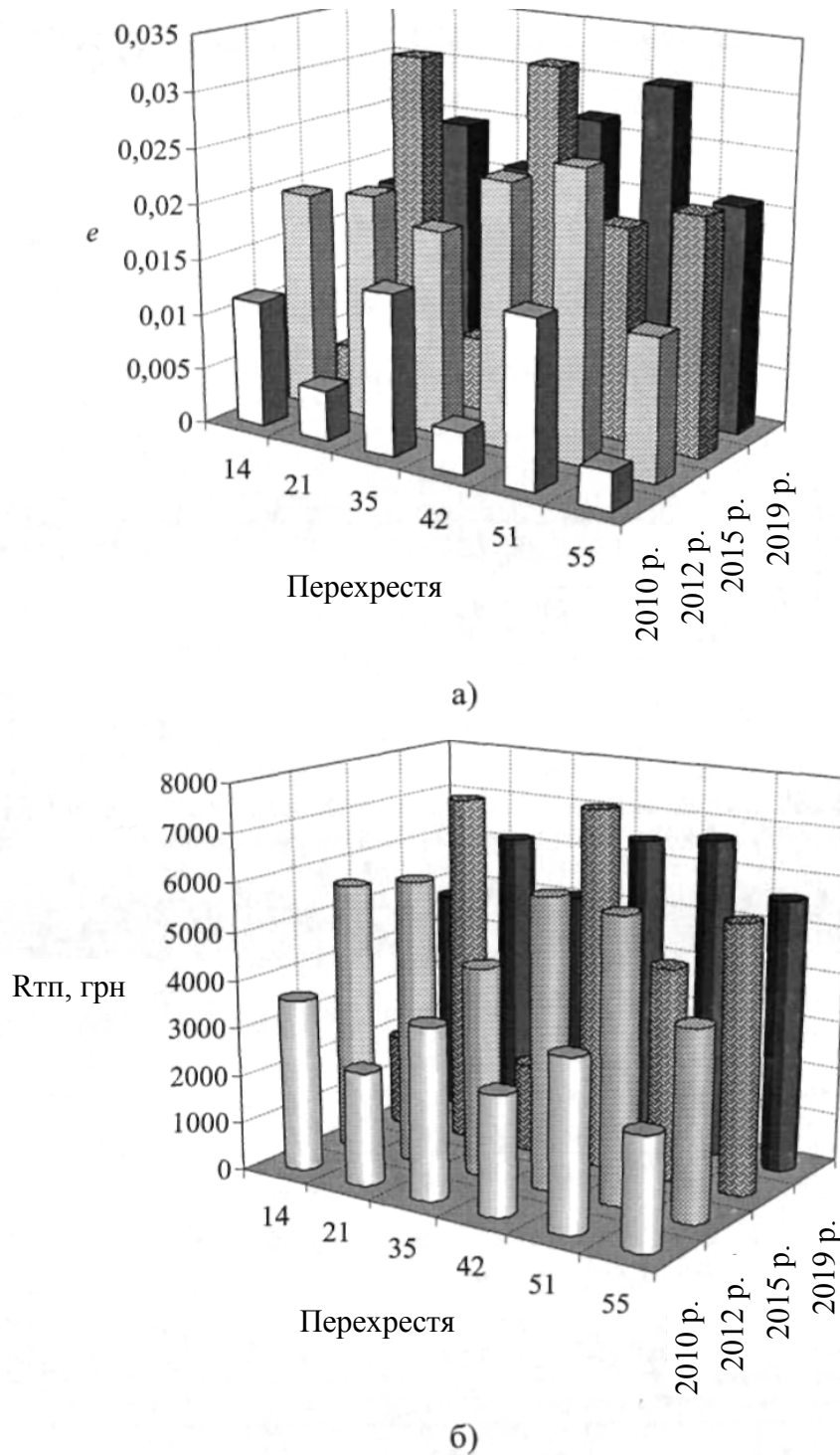


Рисунок 10.2 – Зміна просторово-часової ємності (а) і інтегрального техногенного ризику ТП (б)

Варто зауважити, що в залежності від сформованих умов руху на різних об'єктах ВДМ, їх геометрії і складу ТП екологічна та аварійна складова (ризикові обставини) можуть мати різне співвідношення в структурі інтегрального техногенного ризику ТП. Більше того, для одного і того ж об'єкта

ВДМ назване співвідношення також змінюється при зміні на ньому рівня ентропії. Окреслені особливості простежуються як на перегонах, так і на перехрестях міський ВДМ, що підтверджується діаграмами на рис. 10.3, на якому в якості ілюстрації структури інтегрального техногенного ризику ТП на перегонах.

Як показує аналіз структури інтегрального техногенного ризику ТП, рівень аварійної його складової, як і інтегрального ризику в цілому на перехрестях набагато вище, ніж на перегонах. Пояснюється це тим, що на перегонах спостерігається безперервний рух, у той час як на перехрестях відбувається конфлікт напрямків руху ТП, що тягне за собою зростання ймовірності ДТП, а, отже, і інтегрального ризику в цілому.

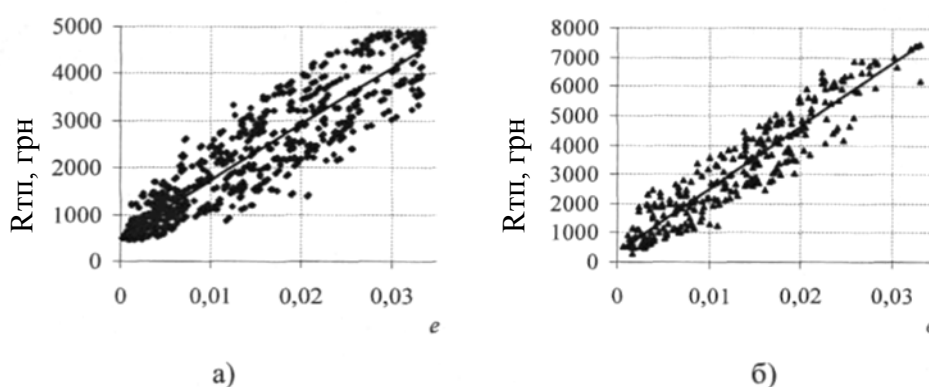


Рисунок 10.3 – Діаграми розсіювання експериментальних значень просторово-часової ємності і інтегрального техногенного ризику ТП для перегонів (а) і перехресть (б) опорної ВДМ м. Харкова

Однак при нерозривній розгляді рамок функції кількісної міри транспортної небезпеки спостерігаються практично ідентичні тенденції зміни просторово-часової ємності й інтегрального техногенного ризику ТП як на перегонах, так і на перехрестях міський ВДМ, що говорить на користь гіпотези про тісний взаємозв'язок між ними. Дана обставина добре простежується при зіставленні діаграм а) і б) на рис. 10.1 та 10.2.

Для побудови моделей, що описують залежності між просторово-часовою ємністю і інтегральним техногенним ризиком ТП необхідно провести статистичну обробку отриманої за результатами комплексних експериментальних досліджень інформації. В першу чергу для двомірних вибірок необхідно побудувати діаграми розсіювання окремо для перегонів і перехресть опорної ВДМ, які представлені на рис. 10.3. Очевидно, що найбільш підходящим типом залежності між рядами даних є лінійна залежність. Чисельно перевірити правильність цього припущення можна за допомогою коефіцієнта кореляції. Його розраховане значення для перегонів становить 0,915, для перехресть — 0,938, що говорить про пряму лінійну залежність між просторово-часовою ємністю та інтегральним техногенним ризиком ТП [99].

Наступним етапом побудови шуканих моделей є пошук параметрів лінійної залежності. Для цього застосуються метод найменших квадратів. Для вихідних даних за досліджувані роки, а також для інтегральної вибірки отримані значення параметрів рівняння виду $R_{j4j} = A \cdot e + B$ для перегонів і перехресть представлені в табл. 10.1.

За отриманими для кожного року лінійними залежностями слід побудувати графіки регресійних моделей для перегонів і перехресть, які представлені на рис. 4.4.

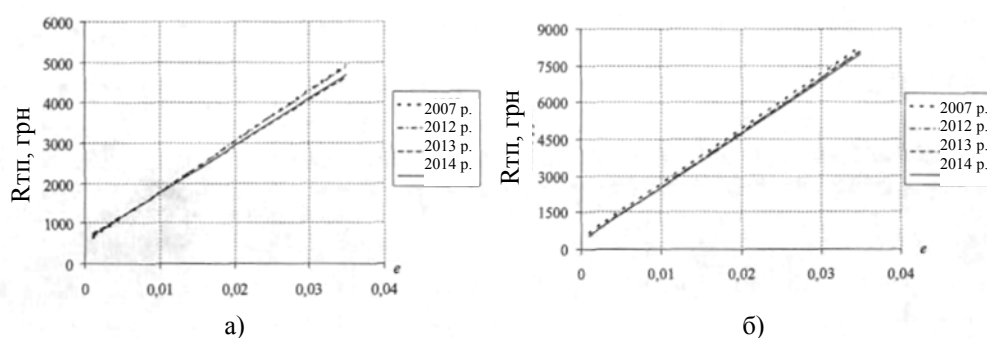


Рисунок 10.4 - Графіки регресійних моделей для перегонів (а) і перехресть (б) опорної ВДМ м. Харкова за досліджувані періоди часу

Після проведених процедур слід оцінити значимість отриманих параметрів регресійних моделей і розрахувати довірчий інтервал для кожного з них.

Перевірити значимість оцінок коефіцієнтів регресії означає встановити, чи достатня величина оцінки для статистично обґрунтованого висновку про те, що коефіцієнти регресії відмінні від нуля. Для цього проводять перевірку гіпотези про рівність нулю коефіцієнтів регресії, що здійснюється за допомогою статистики t

$$t = \left| \frac{b}{S_b} \right| \quad (10.1)$$

де b - оцінка коефіцієнта регресії;

S_b - оцінка середнього квадратичного відхилення коефіцієнта (стандартна помилка оцінки).

В даному випадку статистика t має $k = n - 2$ ступенів свободи, де n - загальне число спостережень. За рівнем значущості та числа ступенів свободи за статистичними таблицями слід визначити значення t_{crit} .

Таблиця 10.1 - Значення коефіцієнтів лінійної регресії для перегонів і перехресть

Рік	Для перегонів		Для перехресть	
	А	В	А	В
2010	126124	509,54	224098	423,56
2012	124863	518,02	223641	273,58
2015	115557	587,93	222638	282,88
2019	118150	567,68	219248	315,22
Інтегральна	119426	545,87	215713	351,51

Якщо в результаті перевірки фактичне значення статистики $t > t_a$, %, то гіпотезу про рівність нулю коефіцієнта регресії відкидають, отже, при заданому рівні значимості коефіцієнт регресії значущий. Для справжніх досліджень оцінки середнього квадратичного відхилення знаходяться за формулами

$$S_A = \frac{S_{\text{ост}}}{\sqrt{n-2}}, \quad (10.2)$$

$$S_B = \frac{S_{\text{ост}}}{S(e) \cdot \sqrt{n-2}}, \quad (10.3)$$

$$S(e) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}, \quad (10.4)$$

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (R_{\text{ТПі}} - R_{\text{ТП}}(e_i))^2, \quad (10.5)$$

де $e_i, \bar{e}$ - відповідно поточне та середнє значення просторово-часової ємності ТП, $(\text{м} \cdot \text{с})^{-1}$;

$R_{\text{ТПі}}$ - поточне значення інтегрального техногенного ризику ТП.

Довірчі інтервали для коефіцієнтів регресії знаходяться за формулою

$$b - t_{\alpha,k} S_b < \beta < b + t_{\alpha,k} S_b. \quad (10.6)$$

Реалізація статистичних процедур до знайдених регресійним моделям перегонів і перехресть дає наступні результати. Загальна кількість спостережень для перегонів складає $b = 868$, відповідно, $\alpha = 866$, для перехресть $k = 298$ і $k = 296$. При таких параметрах статистики критичне значення розподілу Ст'юдента при рівні значущості 0,05 ($t_{\alpha,k}$) становитиме для перегонів 1,96, для перехресть 1,97. В табл. 10.2 представлені значення статистики b для знайдених параметрів регресійних моделей для перегонів і перехресть опорної ВДМ.

З табл. 10.2 видно, що умова $t > t_{\alpha} > \beta$ виконується для всіх параметрів регресії по всіх досліджуваних роках і інтегральної вибірці як для перегонів, так і для перехресть, що свідчить про досить високу значимість всіх коефіцієнтів регресії.

Таблиця 10.2 - Значення статистики b для коефіцієнтів лінійної регресії для перегонів і перехресть опорної ВДМ

Рік	Для перегонів		Для перехресть	
	A	B	A	B
2010	311,61	222,29	11,97	7,21
2012	153,80	78,49	17,62	2,19
2015	108,06	53,57	21,44	3,00
2019	105,29	81,79	15,48	2,03
Інтегральна	286,71	131,51	46,33	9,73

На основі розрахунків за виразом (10.6) довірчі інтервали для коефіцієнтів інтегральної вибірки знаходяться в межах:

— для перегонів

$$119426 - 7025,6 < A < 119426 + 7025,6,$$

$$545,87 - 49,94 < B < 545,87 + 49,94; \quad (10.7)$$

— для перехресть

$$215713 - 11034,3 < A < 215713 + 11034,3,$$

$$351,51 - 86,22 < B < 351,51 + 86,22. \quad (10.8)$$

Всі коефіцієнти за окремі роки знаходяться в даних межах. Це говорить про те, що отримані за інтегральними вибірках модельні рівняння не змінюються з часом і їх можна застосовувати з даними коефіцієнтами як для попередніх років, так і в майбутньому.

Таким чином, остаточні регресійні рівняння для перегонів і перехресть опорної ВДМ міста за якими можна проводити аналіз рівня інтегрального

техногенного ризику ТП та оцінку його зміни мають такий вигляд (з коефіцієнтами кореляції відповідно 0,915 і 0,938; з коефіцієнтами R_2 відповідно 0,837 і 0,880):

— для перегонів

$$R_{Tn} = 119426 \cdot e + 545,87, \quad (10.9)$$

— для перехресть

$$R_{J-JJ} = 215713 \cdot e + 351,51. \quad (10.10)$$

Графіки даних модельних рівнянь представлені на рис. 10.4.

10.4 Загальний прогноз зміни рівня інтегрального техногенного ризику на вулично-дорожній мережі міста

Узагальнений аналіз отриманої інформації за рівнем інтегрального техногенного ризику ТП на опорній ВДМ міста дозволяє провести прогнозування його перспективних змін у часі при незмінних параметрах ДТК [99]. Для цього були використані дані по середньому рівню інтегрального техногенного ризику ТП за досліджувані роки, а також за вибірковими даними на основі експертних оцінок отримано значення середнього рівня інтегрального техногенного ризику ТП за 2015 рік. Було виявлено, що тенденції зростання середнього рівня інтегрального техногенного ризику ТП як для перегонів, так і для перехресть опорної ВДМ міста досить добре апроксимуються експонентними лініями тренда (з рівнем достовірності апроксимації R відповідно 0,979 і 0,982). Аргументом на користь такого висновку виступає графічне представлення проведеного прогнозу зміни середнього рівня інтегрального техногенного ризику ТП. Отримані графіки для перегонів і перехресть ВДМ представлені на рис. 10.6. Для забезпечення необхідної

точності проведено короткостроковий прогноз на період до 2019 рік.

Як свідчить інформація, до 2019 рік без своєчасних заходів можна очікувати досягнення середнім рівнем інтегрального техногенного ризику ТП свого критичного значення (для перегонів і перехресть відповідно 4900 грн. і 7500 грн.). Як наслідок, можливе різке зниження всіх аспектів ефективності транспортного процесу (екологічного, економічного, соціального). Підхід до прогнозування можна застосувати до окремих вулицях опорної ВДМ. У цьому випадку можна передбачити зміну рівня інтегрального техногенного ризику ТП по різних ділянках вулиці з плином часу. Таким чином, результати прогнозу дають підставу говорити про те, що своєчасні заходи щодо оптимізації параметрів ДТК дають суттєвий ефект з точки зору інтегрального техногенного ризику ТП. З іншого боку, локальні або разові заходи дають лише тимчасовий ефект, після чого в умовах постійного зростання автомобільного парку міста можна очікувати нового зростання рівня ентропії і, отже, інтегрального техногенного ризику ТП.

10.5 Зв'язок просторово-часової ємності транспортного потоку з його інтенсивністю і складом

Просторово-часова ємність ТП визначає рівень його ентропії, тому визначення її величини при фактичних режимах і умовах руху для адекватної оцінки реального рівня завантаження елементів ВДМ і ентропії ТП здійснювалося з використанням наведеної інтенсивності руху (п. 10.2). Таким чином, у першому наближенні можна вважати, що основними чинниками, що формують величини просторово-часової ємності й інтегрального техногенного ризику ТП, є його інтенсивність і склад. Реалізація енергоентропійного підходу при формуванні концепції транспортного ризику дозволяє зробити наступні висновки. По-перше, зростання ентропії в ТП проявляється через збільшення неупорядкованості в русі АТЗ і постійне ускладнення їздових циклів окремих автомобілів порівняно з їздовими циклами, які спостерігаються при максимальній кінетичній енергії ТП. З цієї причини збільшення різноманітності ТП

при одному і тому ж значенні фактичної інтенсивності руху веде до істотного зростання ентропії ТП, а, отже, і інтегрального техногенного ризику ТП, тому що зростає кількість і інтенсивність внутрішніх конфліктів в потоці. По-друге, у ТП, що мають велику ступінь різномірності зі збільшенням інтенсивності руху різко зростає властивість інерційності, коли для зниження рівня ентропії і просторово-часової ємності ТП навіть при поліпшенні умов руху потрібно все більше і більше часу. Це призводить до того, що у таких потоків також зростає рівень екологічної та аварійної складових, а, отже, і інтегрального техногенного ризику ТП в цілому. Одночасна дія позначених властивостей виступає причиною того, що при одному і тому ж значенні інтенсивності у ТП з більшою різномірністю спостерігається набагато вищий рівень інтегрального техногенного ризику ТП в порівнянні з більш однорідними потоками. Підтвердження сформульованого висновку можна проілюструвати отриманими в ході експериментальних досліджень закономірностями. Реалізація постулатів названої моделі здійснювалася окремо на перегонах і перехрестях опорної ВДМ міста. Причому, якщо розглядати перехрестя з позиції енергоентропійного підходу, то в даному аспекті він являє собою транспортний вузол, у якому відбувається взаємодія вхідних у нього перегонів. Дослідження показали, що параметри регулювання у вузлі визначають, в кінцевому рахунку, рівень ентропії і інтегрального техногенного ризику ТП взаємодіючих перегонів.

Наявність статистичної інформації великого обсягу дозволило при дослідженні залежності інтегрального техногенного ризику ТП від інтенсивності і складу ТП провести аналіз широкого діапазону різних транспортних ситуацій: зміна інтенсивності ТП від 50 до 1200 авт./рік на смугу; зміна частки вантажних АТЗ і автобусів в ТП від 0 до 50 %. Також розглянуто широкий спектр міських транспортних вузлів різної конфігурації і з різними алгоритмами управління руху (двох- і трьохфазні цикли, період часу заборонного сигналу від 30 до 90 с). В результаті математичної обробки отриманих на магістралях опорної ВДМ міста обширних масивів даних для інтегрального техногенного ризику ТП побудовані поліноміальні поверхні другого ступеня. Причому отримані поліноміальні тенденції справедливі як для перегонів, так і для перехресть

міських магістралей, що підтверджується діаграмами, представленими на рис. 10.7. Для зручності практичної реалізації розробленої методики оцінки небезпеки міських ТП для ТП на всіх елементах опорної ВДМ міста виділені найбільш характерні співвідношення легкових, вантажних АТЗ і автобусів в загальному потоці, що мають принципові відмінності у значеннях інтегрального техногенного ризику ТП. Це дозволило досить успішно замінити отримані поверхні системою поліноміальних залежностей другого ступеня, що збільшує оперативність розрахунку рівня інтегрального техногенного ризику ТП у фактичних умовах руху. Названі залежності мають наступний загальний вид

Для перегонів

$$R_{jj} = A_j - q + B_j - q + C_j. \quad (10.11)$$

Для перехресть

$$R_{jjj} = A_j - q + B_2 - q + C_2. \quad (10.12)$$

Значення інтенсивності, частки вантажних АТЗ і автобусів в транспортному вузлі визначаються за алгоритмом імітаційної моделі руху

АТЗ в складі ТП. Графічне представлення залежностей (10.11) і (10.12) показано на рис. 10.8.

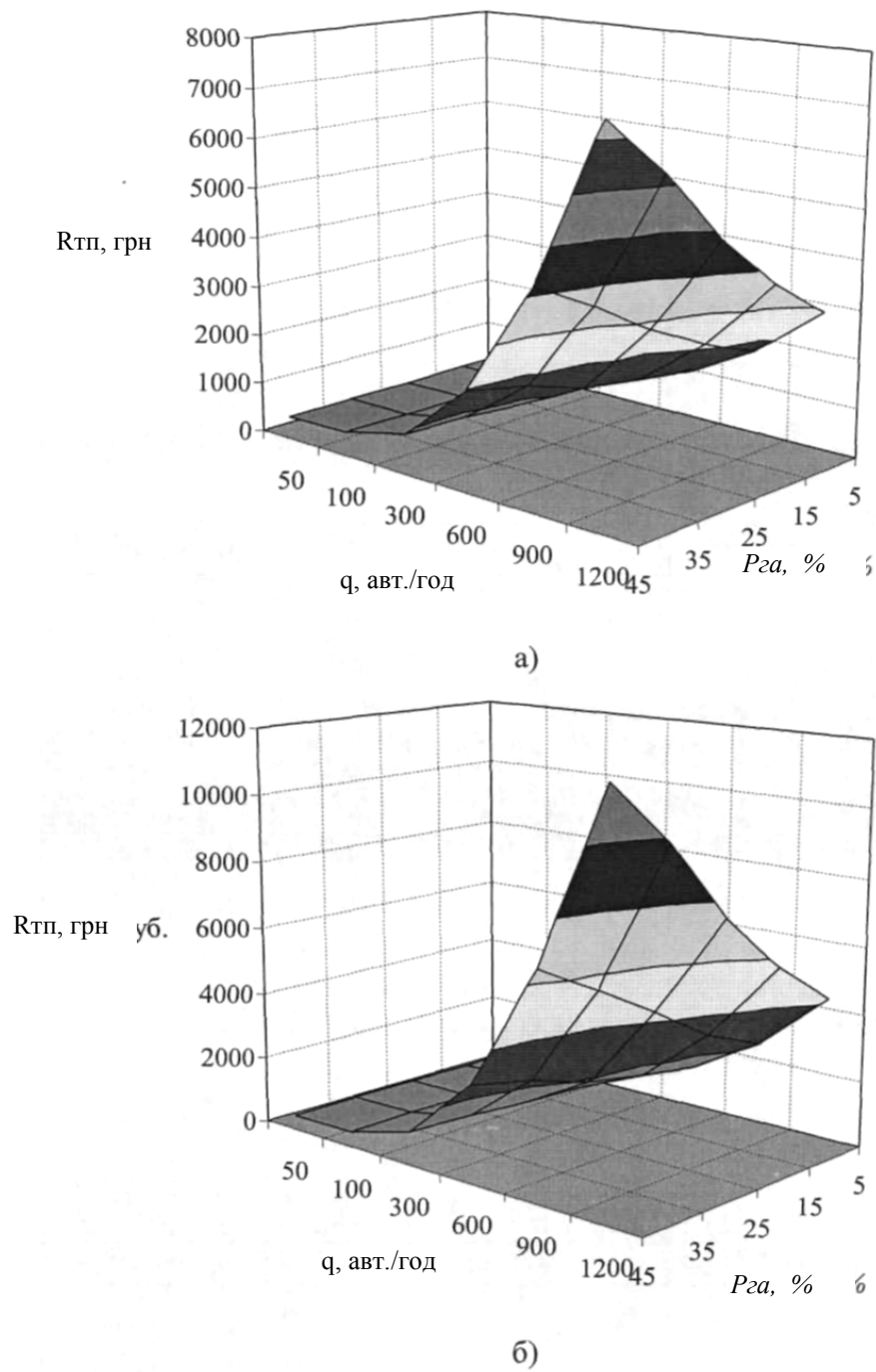
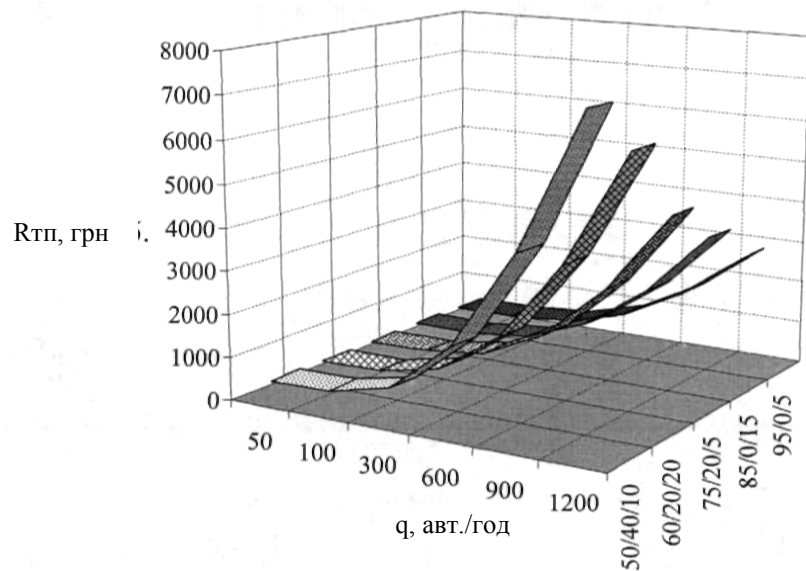
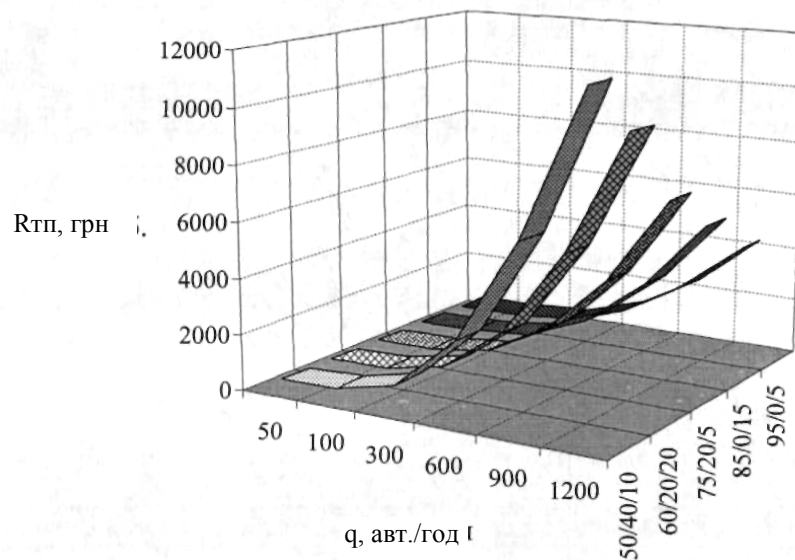


Рисунок 10.7 – Зв'язок інтегрального техногенного ризику ТП з інтенсивністю та складом потоку для перегонів (а) і перехресть (б) опорної ВДМ міста (P_{ga} – частка вантажних АТЗ і автобусів в ТП)



а)



б)

Рисунок 10.8 – Залежність інтегрального техногенного ризику ТП від інтенсивності руху на смугу для перегонів (а) і перехресть (б) при різному складі ТП (легкові/вантажні/автобуси)

Значення регресійних коефіцієнтів A_j , B_j та C_j на перегонах, а також на перехрестях для ТП з різною часткою вантажних АТЗ і автобусів наведено в табл. 10.3.

Таблиця 10.3 – Значення коефіцієнтів поліноміальних залежностей на перегонах і перехрестях опорної ВДМ міста для ТП різного складу

Частка вантажних АТЗ і автобусів $P_{за}$ в ТП	На перегонах			На перехрестях		
	A_j	B_j	C_j	A_2	B_2	C_2
$P_{за} < 5\%$	0,0019	-0,3304	468,18	0,0031	-0,5364	449,23
$5\% < P_{за} < 15\%$	0,0026	-0,4265	474,74	0,0042	-0,6923	459,88
$15\% < P_{за} < 25\%$	0,0032	-0,5254	481,99	0,0053	-0,8529	471,65
$25\% < P_{за} < 40\%$	0,0046	-0,6800	492,48	0,0074	-1,1038	488,68
$P_{за} > 40\%$	0,0055	-0,7864	500,64	0,0089	-1,2766	501,93

Аналіз представлених на рис. 10.7 та 10.8 діаграм підтверджує висунуту раніше гіпотезу про більш високий рівень ентропії у ТП більшої різноманітності. Таким чином, інтегральний техногенний ризик ТП має тісний взаємозв'язок з найважливішими характеристиками потоку, такими як просторово-часова щільність ТП, його інтенсивність і склад, що підтверджує обґрунтованість його застосування як кількісної міри техногенної транспортної небезпеки. Це дає можливість прогнозувати рівень інтегрального техногенного ризику ТП на ВДМ району чи міста в цілому і розробляти заходи щодо його зниження.

10.6 Оцінка ефективності різних заходів на вулично-дорожній мережі міста з точки зору зменшення рівня ризику

Для проектування та впровадження комплексу заходів щодо зменшення рівня інтегрального техногенного ризику ТП в умовах великого міста необхідна систематизація номенклатури можливих заходів з урахуванням розвитку його інфраструктури в цілому та дорожньо-транспортної системи зокрема.

Можлива номенклатура заходів щодо зниження рівня інтегрального техногенного ризику транспортних потоків у м. Харків є наступною.

Заходи конструктивної групи належать до сфери виробництва АТЗ і не можуть бути застосовані до фактичних ТП на ВДМ міста. З іншого боку, кожне конкретне місто має свою специфіку по всіх аспектах розвитку (темпи зростання

парку АТЗ, конфігурація і щільність ВДМ, розміщення фокусів освіти і тяжіння ТП, параметри забудови, можливість фізичного розширення як самого міста, так і окремих шляхів сполучення і т.і.). Тому при практичних дослідженнях можливо обмежитися номенклатурою тих заходів, які, з одного боку, є найбільш універсальними, а з іншого боку, мають можливість практичної реалізації в рамках ВДМ досліджуваного міста.

Для перегонів передбачені деякі містобудівні заходи. До них віднесені всі заходи, які здатні збільшити фактичне число рядів руху і, тим самим, знизити внутрішню тертя в ТП і рівень його ентропії:

а) облаштування стоянок кишень біля фокусів тяжіння ТП для тимчасового зберігання АТЗ;

б) реконструкція перегонів і збільшення кількості смуг руху в необхідному напрямку (напрямах).

Також для перегонів передбачені і організаційні заходи. До них віднесені заходи, спрямовані на зниження ентропії за рахунок поліпшення режимів руху ТП при незмінних геометричних параметрах перегонів:

а) заборона руху вантажного транспорту на міській вулиці або на окремому її ділянці;

б) оптимізація світлофорного регулювання на пов'язаному з даним перегоном перехресті;

в) заборона лівого повороту на пов'язаному з даним перегоном перехресті.

Містобудівні заходи для перехресть спрямовані на збільшення пропускну здатності перехрестя за рахунок його фізичного розширення:

а) місцеве розширення проїжджої частини на підходах до перехрестя;

б) реконструкція та збільшення кількості смуг на вхідних в даний транспортний вузол перегонах.

Організаційні заходи для перехресть спрямовані на збільшення пропускну здатності перехрестя за рахунок поліпшення режимів руху:

а) заборона лівого повороту на перехресті;

б) оптимізація параметрів і алгоритмів світлофорного регулювання на перехресті.

Заходи інформаційного характеру спрямовані на зниження ентропії ТП за рахунок підвищення якості і наочності інформаційного комплексу на перехресті:

а) поліпшення інформативності технічних засобів ОДР.

Після визначення комплексу можливих заходів, впроваджуваних на ВДМ Харкова слід виявити ступінь їх ефективності з точки зору зменшення рівня інтегрального техногенного ризику ТП.

Проведеними вище дослідженнями доведено наявність тісного лінійного зв'язку між просторово-часовою ємністю і рівнем інтегрального техногенного ризику ТП (вирази (10.9) і (10.10)). Зважаючи на це можна припустити, що при зміні рівня ентропії і просторово-часової ємності ТП в результаті впровадження будь-яких заходів на об'єктах ВДМ міста, можна очікувати адекватної зміни на них та рівня інтегрального техногенного ризику ТП. Отже, безпосередня ступінь зниження інтегрального техногенного ризику ТП може бути успішно замінена оцінкою зниження рівня ентропії і просторово-часової ємності ТП. Таким чином, можна ввести параметр кількісної оцінки ефективності позначених заходів щодо зниження рівня інтегрального техногенного ризику ТП d_j . З інформативною точки зору його величина повинна відображати зміна рівня інтегрального техногенного ризику ТП на досліджуваному об'єкті ВДМ при впровадженні на ньому якогось i -го заходи і буде визначатися з виразу

$$d_i = 1 - \frac{e_{ni}}{e_{\delta j}} \quad (10.15)$$

де e_n – значення просторово-часової ємності ТП відповідно до та після впровадження на даному об'єкті ВДМ i -го заходу щодо зниження рівня інтегрального техногенного ризику ТП, $(\text{м} \cdot \text{с})^{-1}$.

Оцінка ефективності запропонованих заходів проводилася в умовах опорної ВДМ міста і виділені такі особливості, що враховуються при визначенні значення параметра оцінки d_j . Перш за все, всі містобудівні заходи як для перегонів, так і для перехресть мають практично ідентичну ефективність, оскільки зводяться до фізичного розширення об'єкта ВДМ і переслідують одну

мету — збільшення числа фактичних рядів руху. З іншого боку, для кількісного значення параметра оцінки d_j в цьому випадку має вирішальне значення варіант реконструкції. В якості оптимізації параметрів світлофорного регулювання розглядалися всі заходи, спрямовані на пошук оптимальних алгоритмів керування рухом. В якості їх, насамперед, були розглянуті введення багатопрограмного регулювання для обліку змінюються параметрів руху ТП на перехресті, а також оптимізація всіх складових структури світлофорного циклу і схем по фазного роз'їзду через перехрестя учасників руху [100].

10.7 Розробка програмного обчислювального комплексу з дослідження і прогнозування рівня інтегрального техногенного ризику на опорній вулично-дорожньої мережі міста

Всі проведені на попередніх етапах дослідження довели наявність тісного взаємозв'язку рівня інтегрального техногенного ризику з просторово-часовою ємністю ТП (вирази (10.9) і (10.10)), а також з інтенсивністю і складом потоку (вирази (10.11) і (10.12)). Це поряд з кількісними величинами параметрів оцінки ефективності заходів щодо зниження рівня інтегрального техногенного ризику ТП d_j і $D_3(p)$ (вираз (10.16)) дають принципову основу для комплексного аналізу та прогнозування його зміни в часі (вираз (10.17)) на об'єктах опорної ВДМ Харкова.

Основною концепцією розроблюваного програмного обчислювального комплексу (ПОК) з аналізу рівня інтегрального техногенного ризику ТП є вирішення завдання з реалізації двох напрямків. По-перше, це можливість за допомогою ПОК будувати графічну картограму інтегрального техногенного ризику ТП на опорній ВДМ міста за необхідний період часу. На подібній картограмі будуть наочно відображатися об'єкти з неприпустимими рівнями ризику та їх взаємне розташування на ВДМ міста. По-друге, це можливість розрахунку при відомих параметрах стану ТП фактичного значення інтегрального техногенного ризику ТП і прогнозу його зміни при впровадженні запланованих заходів для вибраного об'єкту (об'єктів) ВДМ. Реалізація подібної

концепції здійснюється послідовністю процедур, описати яку можна за допомогою загального алгоритму, представленого на рис. 10.9.

Для забезпечення працездатності створюваного ПОК необхідна відповідна реорганізація зібраних вихідних даних за значеннями інтегрального техногенного ризику ТП на об'єктах опорної ВДМ міста.

На рис. 10.10–4.11 показані основні робочі вікна ПОК, логічний і структурний зв'язок між якими визначається його алгоритмом (рис. 10.6). На рис. 10.10 представлено початкове робоче вікно ПОК за вибором його реалізації: побудова картограми або розрахунок і прогноз рівня інтегрального техногенного ризику ТП.

На рис. 10.11 представлені головні робочі вікна ПОК при побудові картограми ризиків за необхідний період часу, а на рис. 10.12 – головні робочі вікна ПОК при оцінці ефективності заходів щодо зменшення рівня ризику на заданих об'єктах опорної ВДМ.

Реалізація статистичних процедур дозволила довести наявність тісного лінійного зв'язку між просторово-часовою ємністю і інтегральним техногенним ризиком ТП як на перегонах, так і на перехрестях з коефіцієнтами кореляції відповідно 0,915 і 0,938.

Всі коефіцієнти регресійних рівнянь за окремі досліджувані роки як для перегонів, так і для перехресть знаходяться в межах довірчих інтервалів коефіцієнтів за інтегральною вибіркою, що доводить їх високу надійність і можливість використання в довільні періоди часу.

Результати короткострокового прогнозу тенденцій зміни рівня інтегрального техногенного ризику ТП на елементах опорної ВДМ дають підставу говорити про необхідність своєчасних і періодичних заходів щодо недопущення транспортних колізій з точки зору інтегрального ризику в умовах постійного зростання рівня ентропії ТП. Доведено наявність тісного поліноміальної залежності другого ступеня інтегрального техногенного ризику від інтенсивності і складу ТП.

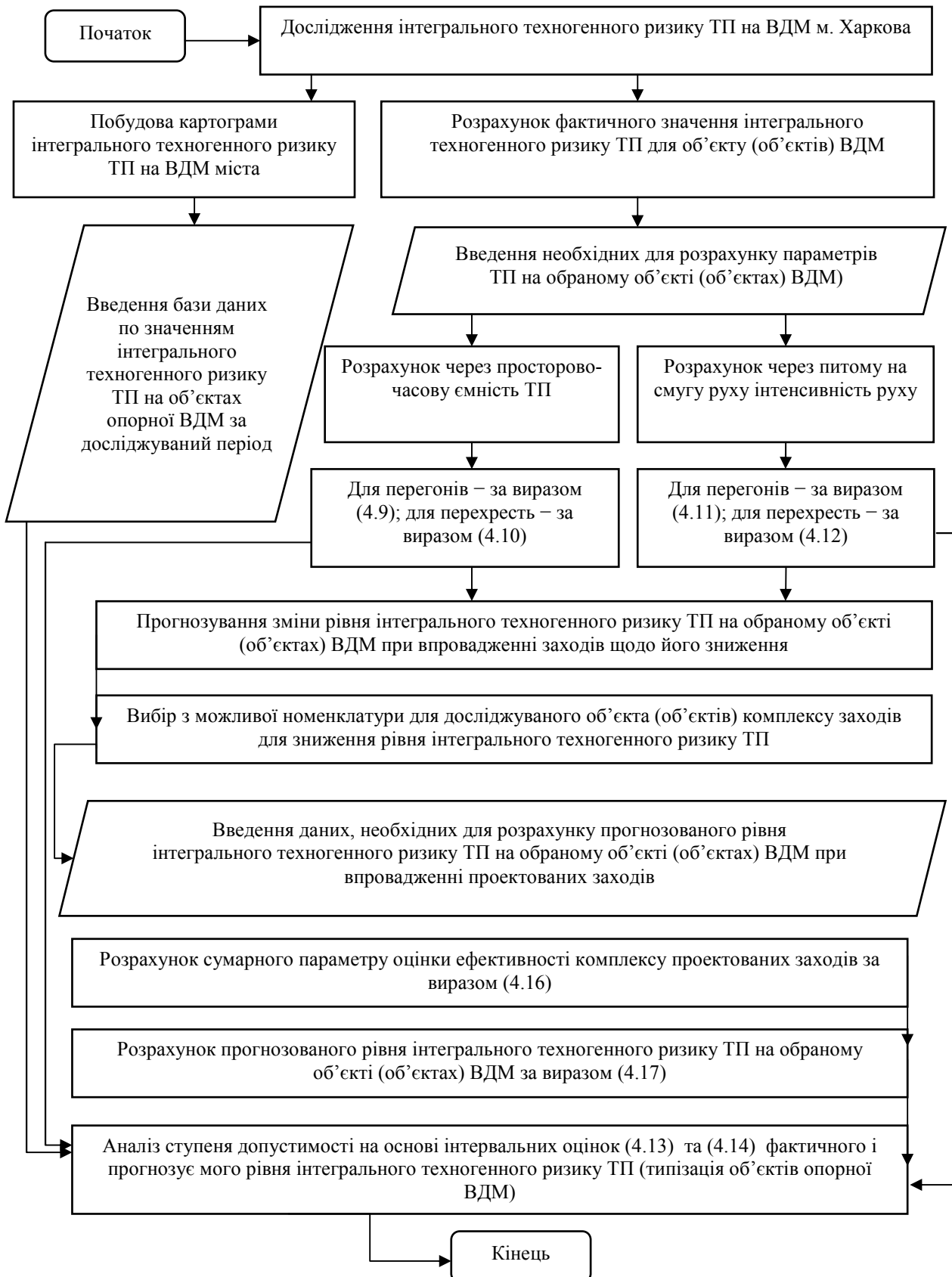


Рисунок 10.9 – Алгоритм ПОК з дослідження і прогнозування рівня інтегрального техногенного ризику ТП на опорній ВДМ міста

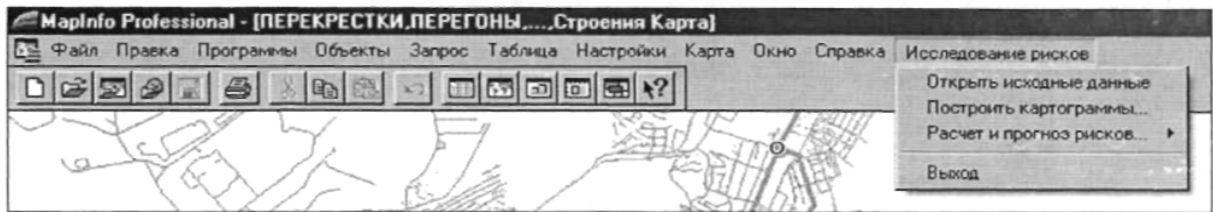


Рисунок 10.10 – Начальное рабочее окно ПОК



Рисунок 10.11 – Головні робочі вікна побудови картограми ризиків

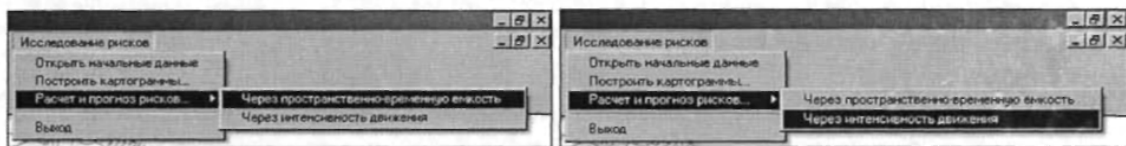


Рисунок 10.12 – Головні робочі вікна розрахунку та прогнозу рівня ризику при впровадженні заходів по його зменшенню

11 СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА БЕЗПЕКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ: КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ АСПЕКТ

Безпека дорожнього руху (БДР), будучи основною проблемою сучасного суспільства, за останні роки на міжнародному рівні набула нового динамізму. Прийнято низку документів з описом масштабів ситуації в області дорожньо-транспортного травматизму, його наслідків для соціальної сфери, здоров'я і економіки, конкретних факторів ризику і ефективних заходів [101-105]. Ці документи послужили стимулом для прийняття низки резолюцій ООН, які закликають держави-члени і міжнародне співтовариство включити дорожню безпеку в число питань глобальної політики і містять конкретні рекомендації до дій. Наприклад, Генеральна Асамблея ООН своєю резолюцією від 10.05.2010 р №64/255 проголосила 2011-2020 роки як «Десятиліття дій по забезпеченню безпеки дорожнього руху з метою стабілізації та подальшого скорочення прогнозованого рівня смертності в результаті дорожньо-транспортних пригод у всьому світі шляхом активізації діяльності на національному, регіональному та глобальному рівнях». Крім того, згідно з Резолюцією ООН з підвищення безпеки дорожнього руху в усьому світі від 23.05.2012 р №66/260 і від 29.04.2014 р №68/269, відправною точкою є визнання так званого «чинника людини» — людської помилки.

Україна приєдналася до Десятиліття дій по забезпеченню безпеки дорожнього руху на 2011-2020 роки, а у 2018 році затвердила оновлену Національну транспортну стратегію України (далі - Стратегія) на період до 2030 року. Стратегія визначає основні напрями поліпшення якості надання транспортних послуг, передбачає наближення рівня розвитку інфраструктури до європейських стандартів, підвищення рівня БДР і зменшення негативного впливу автомобільних транспортних засобів (АТС) на навколишнє середовище, реформує систему управління, проведення адміністративної реформи і децентралізацію повноважень центральних органів виконавчої влади,

запровадження антикорупційної політики, корпоративного управління в державному секторі економіки.

Нова Стратегія, як довгостроковий вектор розвитку транспортного сектора, враховує основні положення європейської транспортної політики [106, 107], визначає пріоритети комплексного формування національної транспортної політики, ефективного державного управління та основні напрями розвитку транспортної галузі на період до 2030 року.

Незважаючи на це, загальні проблеми Стратегії в сфері БДР, дають підстави зазначити наступне:

По перше. Загрозою безпеки в сфері БДР є комплекс різних факторів, які одночасно впливають як на учасників дорожнього руху, так і на БДР. При цьому поряд з великою кількістю технічних, дорожніх факторів і факторів навколишнього середовища, які входять в систему «Людина - Автомобіль - Дорога - Середовище» і які перебувають в складному взаємозв'язку, першорядне значення набуває поняття «фактор людини», тобто, сукупність фізичних і психічних властивостей людини, а також можливість прийняття людиною помилкових рішень, що може привести до аварійних ситуацій на автотранспорті [108-110].

На наш погляд, відсутність єдиного розуміння поняття «фактор людини» в безпеки дорожнього руху, в реальній соціально-економічному середовищі з високою динамікою соціальних процесів, ускладнює розробку і впровадження механізмів підвищення безпеки дорожнього руху. Багато ДТП відбуваються через недосвідченість, недобросовісність, неуважності, а часом і самовпевненості водіїв. Причиною служить і той факт, що водій постійно сприймає великий обсяг інформації про характер і режимі руху всіх його учасників, про стан і параметри дороги, про стан навколишнього середовища та наявності коштів регулювання, про стан вузлів і агрегатів АТЗ [109, 110]. Крім того, необхідно враховувати і вплив на людину геофізичних явищ, що впливають як на навколишнє середовище, так і на психофізіологічний стан людини, які найбільш проявляються в періоди магнітосферних бурь.

На жаль, немає оптимальних критеріїв для оцінки впливу психофізіологічного стану водія АТЗ та інших учасників дорожнього руху на БДР, в зв'язку з цим вплив фактора людини на БДР продовжує залишатися нерегульованим, що вимагає цілеспрямованих наукових досліджень.

По-друге. Причиною високого травматизму та загибелі людей в результаті ДТП є відсутність комплексної державної політики в сфері БДР і ефективних механізмів її реалізації. Зокрема, відсутнє цілісне розуміння системи організації БДР, безпеки АТЗ, відсутній відповідальність за реалізацію програм і конкретних показників безпеки на державному рівні [107]. Під цілісним розумінням системи організації БДР і зокрема безпеки АТЗ, є формування Концепції БДР, ефективне державне управління БДР, взаємодія з усіма учасниками дорожнього руху.

По-третє. Формування та прийняття політики з БДР — багатоступінчастий процес, який: починається з сигналів про проблему БДР (статистика ДТП); сигнали привертають до проблеми увагу фахівців; фахівці активізують ЗМІ, які залучають до проблеми БДР увагу громадськості, сприяючи усвідомленню важливості її вирішення для суспільства, стимулюючи активність влади. При цьому найперші дії повинні бути спрямовані саме на визнання проблеми громадськістю та владою. Чим нижчий ступінь усвідомлення проблеми громадськістю, тим нижче до неї інтерес з боку уряду і, відповідно, його мотивація до управління вирішенням проблеми. На жаль, часто для того, щоб усвідомлення товариства «прокинулося» проблема повинна досягти розмірів національної катастрофи. Після усвідомлення реальності проблеми приходить розуміння необхідності інвестицій у вирішення проблеми.

Головним в реалізації Стратегії щодо підвищення БДР є усвідомлення проблем, що перешкоджають залученню уваги громадськості до дорожньої аварійності, пошук шляхів для їх подолання або способів їх мінімізації. Крім того, підтримку динаміки зниження аварійності вимагає застосування підходу на основі нових уявлень про БДР в частині: балансу відповідальності за БДР; установки прикордонних показників безпеки дорожньої системи на основі фактора людини. Подібні граничні значення раніше розглядалися лише щодо

навколишнього середовища, але ніколи не застосовувалися щодо дорожнього травматизму.

Таким чином, негативний вплив БДР, дорожньої аварійності на суспільство залежить від ряду характеристик самого суспільства, а саме: еволюції АТЗ; розвитку телекомунікацій і методів управління рухом; національної політики в області автотранспорту та розподілу перевезень за видами; інвестиції в транспортну інфраструктуру; фінскальна політика; система ліцензування, страхування, формування правових основ, правил; вимог до водіїв і їх підготовки; політика щодо громадського транспорту; землекористування; розвитку територій, розвитку мереж доріг; політика транспортного сектора по відношенню до навколишнього середовища; стан економіки - підвищення (зниження) обсягів перевезень; фізичний і психологічний стан і рівень підготовки учасників дорожнього руху; структура учасників дорожнього руху за віком, статтю, досвіду, стилям життя; загальний рівень культури учасників дорожнього руху; реакція соціального довкілля на неправильну поведінку учасників дорожнього руху.

У висновку можна відзначити, що в сьогоdnішньому світі, який об'єднується загальними світовими тенденціями і проблемами, одна з яких - дорожня аварійність, самим раціональним напрямком підвищення БДР є використання міжнародного досвіду, а так само об'єднання зусиль при вирішенні загальних автотранспортних проблем для підвищення БДР і для мінімізації рівня смертності в результаті ДТП.

12 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ НА ПОКАЗНИКИ АВАРІЙНОСТІ

12.1 Проблема дорожньо-транспортної аварійності в Україні та світі

Сучасне суспільство не може існувати і розвиватися без просторового переміщення людей, засобів і продуктів їхньої праці. Заснований на використанні транспортної техніки процес задоволення даної суспільної потреби організований в даний час таким чином, що його кінцевим результатом є не тільки досягнення позитивної мети (у вигляді пасажирських, вантажних перевезень, здійснення природного переміщення людей), але і транспортний травматизм, величезні збитки від пошкодження техніки і вантажів. Найбільші соціальні та економічні втрати, що обчислюються щорічно мільйонами травмованих людей, в тому числі близько 1,3 мільйони зі смертельними наслідками, багатьма трильйонами доларів матеріального збитку, приносить суспільству дорожній рух, матеріальною основою якого є рух транспортних засобів по автомобільних дорогах [111]. За масштабом наслідків дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) можна вважати техногенною катастрофою.

У більшості країн аварійність на автомобільному транспорті перетворилася в одну з найважливіших соціально-економічних проблем. Не випадково, положення з безпекою дорожнього руху Організація Об'єднаних Націй характеризує як глобальна криза. За даними Світового Банку щорічний економічний збиток перевищує 500 млрд. доларів США [111]. У новій доповіді Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) відзначається, що смертність в результаті дорожньо-транспортних пригод (ДТП) продовжує зростати, складаючи 1,35 мільйона випадків смерті в рік. У Доповіді ВООЗ про стан безпеки дорожнього руху в світі 2018 р. підкреслюється, що на сьогоднішній день травми в результаті ДТП є основною причиною смерті дітей і молодих людей у віці 5-29 років [112].

Нажаль, Україна не є виключенням. Найбільші соціальні і економічні втрати, що в Україні обчислюються щорічно тисячами травмованих людей, у тому числі від 4 до 6 тисяч із смертельним результатом, багатьма мільярдами гривень матеріального збитку, приносить суспільству дорожній рух. В умовах нестримного росту числа автомобілів підвищується інтенсивність транспортних потоків, міняються традиційні поняття про мобільність людини, про транспортну доступність територій. За основними показниками аварійності Україна входить до групи країн з ситуацією, що погіршується. Число загиблих на 100 тис. жителів в Україні в три рази вище, ніж у Великобританії і Швеції, в два рази, чим в Німеччині, Данії і Канаді. Тяжкість наслідків ДТП в нашій країні в 10-12 разів перевищує значення цього показника в інших країнах Європи. Усе це дозволяє зробити висновок, що в Україні склалася критична ситуація в дорожній галузі, що ставить під загрозу нормальне функціонування економіки, забезпечення економічної, соціально-демографічної і інших видів національної безпеки держави. Наслідком такого положення є погіршення умов руху, затори, збільшення витрати палива, погіршення екологічної обстановки і ріст кількості ДТП.

Як показує аналіз, головною причиною переважної більшості ДТП є свідоме порушення і водіями, і пішоходами правил дорожнього руху. Це говорить про украй низьку культуру поведінки на дорогах, про безвідповідальність і правовий нігілізм. Неправильний вибір швидкості руху автомобіля або перевищення нормативно встановлених швидкісних режимів є найважливішим фактором, що сприяє росту дорожнього травматизму. Чим вище швидкість, тим більше гальмовий шлях транспортного засобу, і, отже, підвищується ризик виникнення ДТП. У випадку, якщо аварія відбувається на високій швидкості, повинна бути поглинена більша кількість кінетичної енергії, і ризик одержання важкої травми значно зростає.

Очевидно, що в умовах існуючих транспортних технологій неможливо забезпечити повністю безаварійне дорожній рух, особливо в великих містах. Проте, досвід багатьох країн - лідерів рейтингу безпеки дорожнього руху, показує, що використання ефективних організаційних та інженерних заходів,

може привести до зниження показників смертності в ДТП до 3...4 чол. на 100 тис. жителів. Одним з головних напрямків є управління швидкістю руху на елементах вулично-дорожньої мережі (ВДМ), оскільки саме швидкість автомобіля в значній мірі визначає як ймовірність ДТП так і тяжкість наслідків.

12.2 Оптимізація швидкісного режиму на ВДМ міст як фактор безпеки дорожнього руху

Управління швидкісним режимом на елементах вулично-дорожньої мережі (ВДМ) великих міст і мегаполісів є однією з ключових завдань і одночасно наріжним камінням проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху. Головна мета організації дорожнього руху (ОДР), яка зводиться до забезпечення прийнятних для користувачів доріг витрат часу на переміщення а також високу ефективність автомобільних перевезень, так чи інакше вимагає підвищення швидкостей сполучення. У той же час завдання зниження ризиків ДТП вимагає зменшення швидкостей руху. Компроміс в даному питанні в кінцевому підсумку досягається через співвідношення таких понять, як «вартість часу» і «вартість життя» [113].

Головним інструментом управління швидкісним режимом на ВДМ міст є обмеження максимальних швидкостей руху. Для переважної більшості країн Європи, в тому числі країн - лідерів рейтингу безпеки дорожнього руху, характерним є зональний принцип при встановленні обмежень швидкості на ділянках ВДМ великих міст. Обмеження швидкості руху в 50 км/год є загальновизнаним стандартом, а для центральних або житлових районів мегаполісів характерним є наявність зон з обмеженням 30 км/год та 20 км/год. При цьому зазвичай присутня розвинена мережа міських доріг і ділянок вулиць і з підвищеним швидкісним режимом від 70 до 110 км/год. Такий підхід дозволяє забезпечити високі значення швидкостей сполучення при забезпеченні безпеки найбільш вразливих учасників дорожнього руху.

Можна виділити основні принципи застосування зонального підходу в обмеженні максимальної швидкості руху:

- відповідність обмежень швидкості фактичним умовам руху на конкретній ділянці ВДМ;

- єдині значення обмежень для типових (нормативних) умов руху;
- чіткість та прийнятність для основної маси водіїв логіки введення обмежень;

- захист інтересів вразливих категорій учасників дорожнього руху, таких як пішоходи та велосипедисти;

- ефективність поліцейського контролю дотримання швидкісного режиму.

Хоча логіка зазначеного підходу є цілком зрозумілою, просте копіювання досвіду країн передовий автомобілізації на інші регіони і держави, може не дати очікуваного результату. Причиною є не тільки відмінності міської транспортної інфраструктури, а й інше соціальне середовище, або, використовуючи термінологією проф. Д. Адамса, рівень «транспортної грамотності нації».

Наприклад, незважаючи на наявний досвід щодо підвищення встановлених обмежень швидкості на окремих ділянках ВДМ великих міст в Україні, Росії та Білорусі, дані заходи не можна назвати системними. Можна вказати ряд факторів, що ускладнюють широке застосування даної практики:

- відсутність мережі швидкісних автодоріг з необхідною інфраструктурою (позавулична дорожня мережа);

- відсутність системи функціональної стратифікації елементів ВДМ міст;

- низький рівень контролю за дотриманням швидкісного режиму;

- низька загальна дисципліна учасників дорожнього руху, наявність специфічного національного менталітету;

- низька ступінь участі суспільства в прийнятті рішень в сфері транспортної інфраструктури та ОДР;

- низька ініціативність посадових осіб в прийнятті рішень щодо зміни швидкісного режиму на окремих елементах ВДМ.

Прокоментуємо деякі із зазначених положень.

У країнах передової автомобілізації (США, Канада, Західна Європа, Австралія) з 50-х та 60-х років минулого століття отримала розвиток мережа позавуличних швидкісних міських магістралей, яка спиралася на дворівневу

систему стратифікації вулиць і доріг [114]. При цьому елементи ВДМ міст відносилися до одного з функціональних типів з відповідними нормами проектування. Оскільки ВДМ міст пострадянських держав формувалася в інших умовах, застосування концепції зональних обмежень швидкості повинно ґрунтуватися на поділі елементів ВДМ за фактичними наявними або типовими умовами руху після проведення відповідних досліджень.

З особливостей східнослов'янського менталітету, що впливають на ефективність заходів в сфері ОДР можна виділити необхідність особистісного прийняття більшістю водіїв доцільності або справедливості обмежень швидкісного режиму відповідно їх суб'єктивним сприйняттям фактичних умов руху. Іншими словами, середньостатистичний водій схильний дотримуватися лише тих обмежень, які вважає виправданими, і, отже, встановлювані обмеження швидкості слабо вплинуть на фактичний швидкісний режим на ділянках доріг при відсутності ефективного контролю дотримання швидкості.

Високий ступінь централізації системи управління дорожнім рухом ускладнює прийняття рішень на муніципальному рівні, що в свою чергу викликає необхідність у підвищенні вимог до нормативного забезпечення організаційних та інженерних заходів ОДР. В якості ілюстрації зазначеної проблеми можна навести приклад трагічного ДТП в Харкові 18 жовтня 2017 року, що викликало неабиякий інформаційний резонанс [115]. У гонитві за скандальними подробицями журналістів центральних і місцевих ЗМІ в першу чергу цікавили не стільки проблема високих показників смертності на дорогах України в цілому, скільки можлива винність в окремій трагедії влади міста або конкретних посадових осіб. Не складно уявити реакцію «обуреної громадськості», якби подібний інцидент стався на ділянці магістральної вулиці, де нещодавно місцевою владою було санкціоновано підвищення межі максимальної дозволеної швидкості руху. Таким же чином, рішення про введення зон обмеження швидкості 30 км/год в районах щільної міської забудови з високою інтенсивністю пішохідних потоків, швидше за все, не зустріне схвалення з боку водіїв.

За таких умов, наявність державного нормативного документа, що регламентує порядок і умови застосування зональних обмежень швидкості руху, стало б своєрідною страховкою для особи, яка приймає рішення щодо впровадження зональних обмежень швидкості на ділянках ВДМ. Ще одним важливим стимулюючим фактором може стати створення дієвих механізмів участі громадськості в прийнятті рішень у сфері ОДР на муніципальному рівні, що також реалізовувало б принцип розділення відповідальності.

12.3 Методи оцінки впливу швидкісного режиму на безпеку руху

Для вирішення завдань управління швидкісним режимом корисним є отримання кількісної оцінки впливу швидкості руху на ризик залучення в ДТП. Класичні роботи з даної проблеми показують, що ймовірність ДТП для окремого автомобіля на певній ділянці дороги є зростаючою функцією швидкості [116 - 118]. Також велика кількість досліджень підтверджує взаємозв'язок між швидкістю і наслідками ДТП [119].

Можна виділити кілька основних методичних напрямків, які використовуються для збору інформації та подальшої оцінки впливу швидкісного режиму на показники аварійності. Перший підхід полягає в порівнянні швидкості руху автомобілів, що потрапили в ДТП, зі швидкістю еталонної групи автомобілів, обраних випадковим чином. Головною складністю даного підходу є отримання достовірних даних про швидкість автомобілів, що потрапили в ДТП. Ці дані можуть бути отримані в результаті вивчення «водійських історій» або шляхом опитування водіїв, які потрапили в ДТП, проте більш об'єктивним джерелом інформації можна вважати результати поліцейських розслідувань.

Другий підхід передбачає виявлення взаємозв'язків при порівнянні масивів даних про ДТП, які відбувалися в різних умовах, що впливають або можуть вплинути на швидкісний режим руху. наприклад:

- до і після зміни обмежень швидкості на ділянці дороги;

- для ділянок дороги, що мають різні обмеження швидкості або характерні розподіли швидкостей руху;

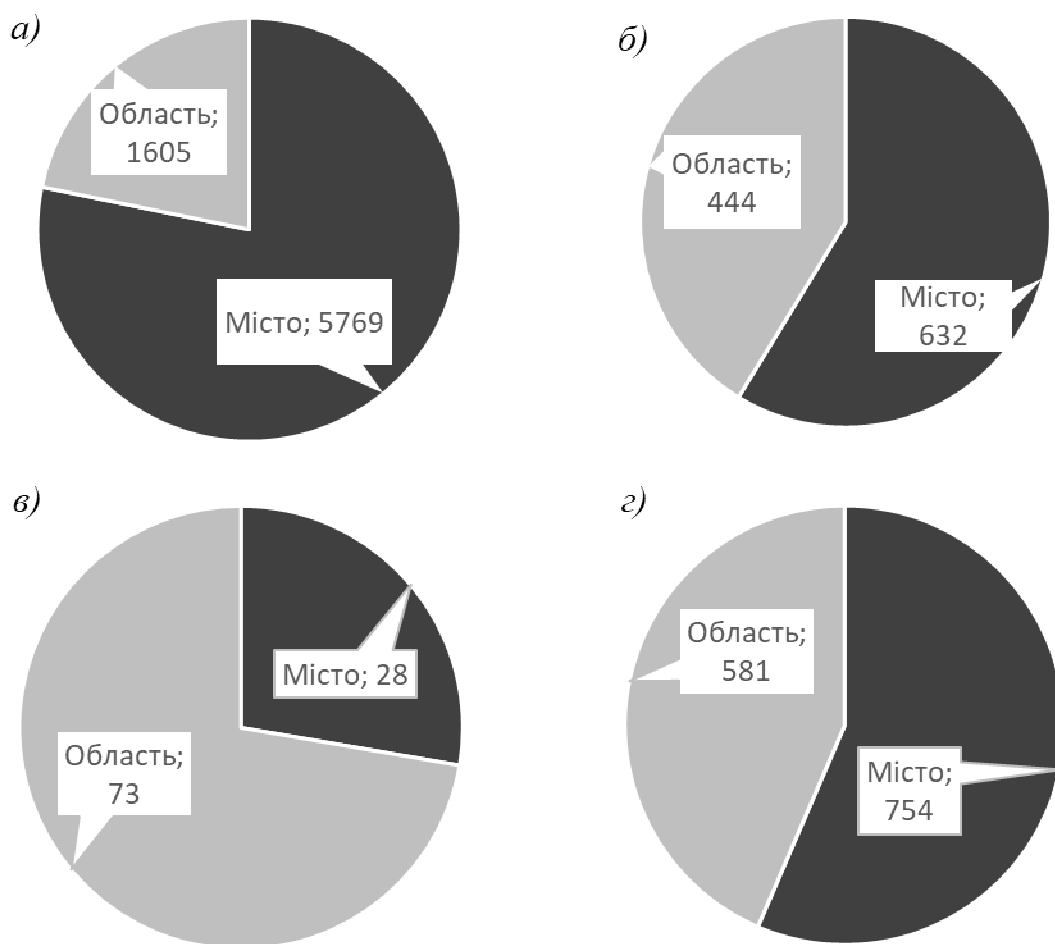
- для країн або регіонів з різними обмеженнями швидкості руху.

Даний підхід має ряд недоліків. По-перше, в будь-якому конкретному дослідженні найчастіше є можливість вивчити тільки певну частину швидкісного діапазону, в межах якого відбувалися зміни: наприклад, вплив зміни обмеження швидкості з 60 до 50 км/год. У той час, як за результатами ряду досліджень, вплив швидкості на ризики ДТП є нелінійним. По-друге, як і в разі будь-якої оцінки, заснованої на групових, а не індивідуальних даних, існує невизначеність щодо причинно-наслідкового взаємозв'язку досліджуваних факторів на індивідуальному рівні. Таким чином, хоча використання зазначеного підходу дозволяє якісно оцінити вплив швидкості на безпеку дорожнього руху, складно отримати кількісну характеристику даного взаємозв'язку.

В якості третьої напрямки досліджень можна виділити методи, пов'язані з дослідженням фізики ДТП. Такі параметри руху автомобіля, як гальмівний шлях, критична швидкість на кривій в плані, стійкість і керованість автомобіля є функціями швидкості, тому можуть бути джерелами інформації про характер взаємозв'язку швидкості і ймовірності ДТП, а також можуть відігравати певну роль у забезпеченні безпеки дорожнього руху.

12.4 Аналіз впливу швидкісного режиму на показники тяжкості ДТП

Загальний вплив швидкісного режиму руху на тяжкість ДТП можна побічно оцінити через порівняння статистичних даних для міста Харкова і Харківської області (рис. 12.1).



а) - загальна кількість ДТП; б) - кількість ДТП з потерпілими;
 в) - чисто загиблих; г) - число травмованих

Рисунок 12.1 - Порівняння абсолютних показників аварійності та смертності в ДТП на дорогах міста і області за 8 місяців 2019 р.

Аналіз наведених даних показує значне перевищення кількості ДТП, скоєних в межах міста над ДТП, що трапилися в межах області (78 % і 22 % відповідно). Різниця в кількості пригод з потерпілими вже не настільки значна (59 % проти 41 % на користь міста). Ще менше відрізняються дані по числу травмованих в результаті ДТП (56 % в місті та 44 % в області). Разом з цим, різке відрізняється картина по числу загиблих в ДТП - безпосередньо в місті за досліджений період загинуло значно менше людей, ніж в області: у співвідношенні 28 % до 72 %. Можна припустити, що причиною такої

відмінності показника смертності є більш високий швидкісний режим на дорогах Харківської області в порівнянні з режимом руху в межах міста.

12.5 Аналіз впливу зміни обмежень швидкості в населених пунктах України на показники аварійності

На відміну від країн Західної Європи, ВДМ великих міст України, успадкована від СРСР, формувалася в інших умовах. Тому до сьогоднішнього дня в Україні не знайшли застосування принципи зонального обмеження швидкостей руху, а встановлені Правилами дорожнього руху єдині обмеження швидкості діють на всіх елементах ВДМ міст: як на магістральних вулицях, так і на вулицях місцевого значення.

У зв'язку з вищевикладеним, є цікавим і показовим досвід України щодо вирішення завдання підвищення безпеки дорожнього руху шляхом зниження максимальної дозволеної швидкості в населених пунктах зі 60 до 50 км/год. Відповідні зміни були введені з 1 січня 2018 р.

Порівняльна статистика ДТП по Україні в цілому, а також окремо по Харківській області за 2017 і 2018 роки наведена в табл. 12.1. Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що зниження показників аварійності та смертності в ДТП за підсумками 2017 і 2018 років є вкрай незначними, що в цілому вкладається в загальний для України знижувальний тренд за попередні 5 років [120]. При цьому, в наступний період 2019 р. відбулося збільшення загальної кількості ДТП, кількості загиблих і травмованих.

Таким чином, можна констатувати, що зниження загальних обмежень швидкості руху в населених пунктах України з 60 до 50 км/год не привело до зниження кількісних показників ДТП.

Також представляє інтерес порівняння статистичних даних по ДТП, в результаті розслідування яких в якості основної причини було виявлено невідповідність швидкості руху автомобіля умовам безпеки або встановленим обмеженням. Відповідні дані наведені в табл. 12.2 та 12.3.

Таблиця 12.1 – Загальна статистика ДТП в Україні

Період	Всього ДТП	Зміна, %	ДТП с потерпілими					
			Загалом	Зміна, %	Загинуло, чол.	Зміна, %	Травмовано, чол.	Зміна, %
2017 р.	162526	+2,4	27220	+1,6	3432	+0,6	34677	+3,2
2018 р.	150120	-7,6	24294	-10,7	3350	-2,4	30884	-10,9
2019 р.	160675	+7,0	26052	+7,2	3454	+3,1	32736	+6,0

Таблиця 12.2 – ДТП через перевищення встановленої швидкості

Період	ДТП с потерпілими					
	Загалом	Зміна, %	Загинуло, чол.	Зміна, %	Травмовано, чол.	Зміна, %
2017 р.	380	124,9	64	100	479	110,1
2018 р.	275	-27,6	52	-18,8	352	-26,5
2019 р.	362	31,6	76	28,8	464	31,8

Таблиця 12.3 – ДТП через перевищення безпечної швидкості

Період	ДТП с потерпевшими					
	Загалом	Зміна, %	Загинуло, чол.	Зміна, %	Травмовано, чол.	Зміна, %
2017 р.	4730	-4,0	652	-22,7	6419	-2,3
2018 р.	4939	4,4	655	0,5	6596	2,8
2019 р.	5765	16,7	715	9,2	7476	13,3

12.6 Дослідження швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП

Оцінити вплив зміни загального обмеження швидкості на безпеку руху в містах України можна за результатами статистичної обробки даних про швидкості руху автомобілів, що потрапили в ДТП з постраждалими за періоди до і після введення змін.

Відповідні дані для міста Харкова були отримані з матеріалів розслідування обставин ДТП, які проводилися експертами Харківського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України протягом 2017 і 2018 років. На рис. 12.2 та 12.3 результати аналізу представлені у вигляді гістограм розподілу швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП з постраждалими (від тілесних ушкоджень середньої тяжкості до смертельних). Основні статистичні характеристики масивів даних наведені в табл. 12.4.

На гістограмі можна побачити, що досить велика кількість транспортних засобів, які потрапили в ДТП, рухалися з перевищенням максимальної дозволеної швидкості руху: 25,5 % водіїв рухалися зі швидкістю, більше 60 км/год, 10 % — більше 80 км/год. Однак при цьому немає можливості встановити, для якої кількості подій факт перевищення швидкості був головною причиною ДТП.

Також представляє інтерес порівняння розподілів швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП в 2017 р - в період дії обмеження 60 км/год, з подіями за 2018 р. - після введення обмеження 50 км/год (рис. 12.3).

Таблиця 12.4 - Статистичні характеристики розподілів швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП з постраждалими в м. Харкові

Параметри	Період, що аналізується		
	2017-2018 р.	2017 р.	2018 р.
Середнє значення	53,5	57,7	50,2
Модальне значення	50	60	50
Стандартне відхилення	23,7	25,6	21,8
Обсяг вибірки	162	72	89

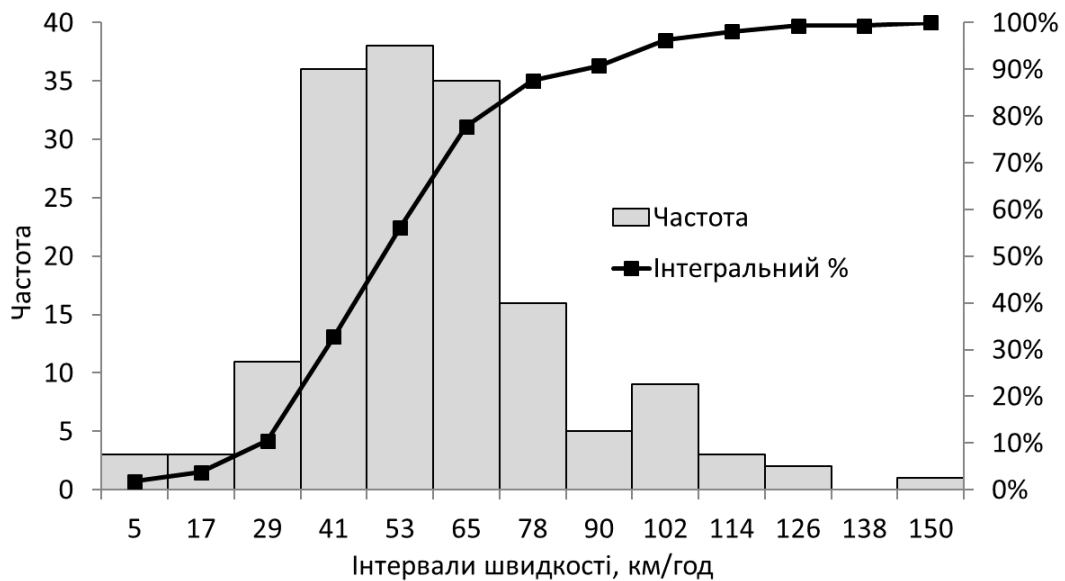


Рисунок 12.2 - Розподіл швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП з потерпілими (від середньої тяжкості і вище) в м. Харкові

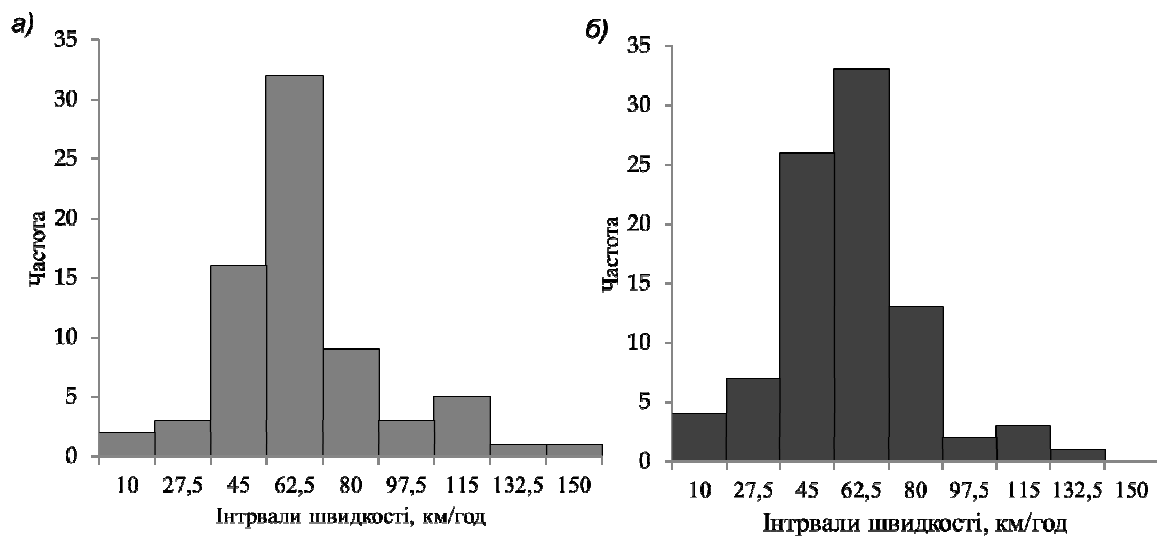


Рисунок 12.3 - Розподіл швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП з потерпілими: а - за 2017 р.; б - за 2018 р.

Можна констатувати, що зниження межі дозволеної швидкості практичний не вплинуло на розподіл швидкостей автомобілів, що потрапили в ДТП. Незначно зменшилися середні і модальні значення розподілів, причиною чого може бути в тому числі заниження водіями швидкостей руху своїх автомобілів у

випадках, коли швидкість встановлювалася за словами водія, а не в результаті автотехнічної експертизи.

Порівняльний аналіз статистичних даних аварійності для міста Харкова і Харківської області протягом восьми місяців 2019 р. показує значне перевищення кількості ДТП, скоєних в межах міста над ДТП, що трапилися в межах області (78 % і 22 % відповідно). Разом з цим, безпосередньо в місті за досліджений період загинуло значно менше людей, ніж в області: у співвідношенні 28 % до 72 %. Можна припустити, що причиною такої відмінності показника смертності є більш високий швидкісний режим на дорогах Харківської області в порівнянні з режимом руху в межах міста.

Порівняння статистики аварійності та смертності в ДТП в Україні до і після зменшення дозволеної швидкості руху в населених пунктах з 60 до 50 км/год показало практичну відсутність змін відповідних показників. Також не було виявлено впливу змін встановленого швидкісного режиму на розподіл фактичних швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП в одному з найбільших міст України.

Причиною такого результату може бути перш за все відсутність ефективної системи контролю швидкісного режиму на ВДМ міст України. Також могла позначитися інертність основної маси водіїв при переході на новий швидкісний режим.

В умовах відсутності контролю швидкісного режиму важливим аспектом забезпечення безпеки руху стає фактор особистісного прийняття більшістю водіїв встановлених обмежень швидкісного режиму щодо їх суб'єктивного сприйняття фактичних умов руху на ділянці ВДМ. Іншими словами, середньостатистичний водій буде схильний дотримуватися тільки тих обмежень швидкості, які вважатиме обґрунтованими.

Спираючись на досвід України, в цілому можна констатувати низьку ефективність загального зниження максимальної дозволеної швидкості руху в містах без створення ефективної системи контролю швидкості. Це може служити підтвердженням доцільності використання зонального принципу управління швидкісним режимом на окремих елементах ВДМ великих міст. Відповідна

методика повинна спиратися на результати досліджень характеристик дорожнього руху в умовах існуючої транспортної планування міст, враховувати можливості наявної системи контролю швидкісного режиму, існуючі особливості та стереотипи поведінки учасників дорожнього руху.

13 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДЕТЕКТОРІВ ТРАНСПОРТУ

В умовах постійного збільшення темпів автомобілізації та високої інтенсивності руху особливої уваги набуває питання адаптивного управління дорожнім рухом. Для реалізації цього управління необхідним елементом є наявність детекторів транспорту (ДТ), які відносяться до засобів технічних периферійних автоматизованої системи керування дорожнім рухом (АСКДР). ДТ призначені для виявлення типів транспортних засобів та визначення характеристик їх руху у контрольованій зоні вулично-дорожній мережі (ВДМ) [121].

Для обліку автомобільного руху широке використання отримали п'ять основних типів детекторів: радарний, ультразвуковий, інфрачервоний, відеодетектор та детектор на основі індуктивних петель.

Датчики на основі індуктивних петель порівняно недорогі, дуже точні, не чутливі до погодних умов, при цьому дорогі і складні в установці і ремонті оскільки для цього потрібно розкриття дорожнього покриття. Парно встановлені індуктивні петлі дозволяють здійснювати досить точну класифікацію. Для підключення потрібні власні адаптери. На виході дані представляються в імпульсній формі: або є транспортний засіб (ТЗ), або його нема. Нажаль, погодні умови і середня якість дорожнього покриття в Україні роблять такі детектори непридатними до практичного застосування [122].

Різні типи датчиків, що встановлюються над дорожнім полотном, наприклад ультразвукові відрізняються середньою точністю, мають невелику область охоплення, разом з тим, дякуючи невисокій вартості, можуть ефективно застосовуватися для певних завдань. Видається інформація, аналогічна індуктивним петлям. Існують спеціалізовані датчики для магістралей, але їхня вартість не дозволяє їх розглядати як можливу альтернативу. Інфрачервоні, звукові та інші датчики, які використовуються на даний момент, не показують прийнятну точність роботи і витісняються більш досконалыми пристроями. Лазерні датчики забезпечують дуже високу точність (більш ніж потрібно), але

поки надмірно коштовні.

Відеодетектори — один з напрямків, який найбільш динамічно розвивається, в багатьох випадках забезпечують оптимальне співвідношення «ціни і можливостей». Розроблялися для заміни індукційних петель, тому мають схожий алгоритм роботи - визначають наявність або відсутність машин в заданих зонах — так званих віртуальних петлях. Інформація видається аналогічно індуктивним петлям в імпульсному режимі, є/не має ТЗ у відповідній зоні. При цьому одна камера може контролювати до 3-4 смуг на відстань до 70 м, аж до 16 зон, в залежності від обраної оптики і висоти установки. Незалежні дослідження показують точність на рівні 95 % від індуктивних петель. Останні моделі камер практично не поступаються індуктивним петлям по точності роботи, можуть працювати цілодобово — вночі працюють по світлу фар. В умовах поганої видимості, при сильних опадах буде знижуватися точність.

Крім того, багато виробників поставляють камери з різним функціоналом на однаковій апаратній реалізації:

- для виявлення присутності машин;
- для виявлення інцидентів, аварій, небезпечних ситуацій;
- для збору статистики з елементарної класифікації;
- для розрахунку довжини черги і інших додаткових можливостей.

Деякі моделі камер дозволяють виводити і відеопотік, але часто його якість нижча, ніж у звичайних камер відеоспостереження, тому що дана функція в таких детекторах по суті побічна.

Радарні датчики забезпечують високу точність виявлення і супроводу ТЗ, мають найбільшу дальність виявлення і можуть надавати супутню інформацію— швидкість, тип та ін. Конструктивно вони не можуть відстежувати об'єкти, які зупинилися, що в просунутих моделях компенсується алгоритмічно. Для рухомих машин точність досить висока, мало погіршується з видаленням від детекторів, не залежить від опадів і освітленості. Мають мертву зону поблизу детекторів, розмір якої залежить від висоти установки і діаграми спрямованості. Можуть видавати як імпульсний сигнал по віртуальним петлям, так і повну інформацію по кожному супроводжуваному об'єкту (швидкість і напрямок руху,

розміри ТЗ), в залежності від інтерфейсу підключення. Більш того, є можливість візуалізації дорожньої обстановки в реальному часі, в тому числі з накладенням на відеокартинку.

Сучасні моделі камери спостережень дозволяють видавати картинку з роздільною здатністю два мегапікселя і вище, при частоті 25 кадр/сек. У більшості випадків, найбільших вкладень вимагають не самі камери, а відповідний канал зв'язку, бо для однієї камери потік становить від 0,5 до 8 Мбіт в залежності від роздільної здатності. На практиці реалізувати ефективну і стабільну систему відеоспостереження можна тільки на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку. Крім цього, за допомогою спеціального програмного забезпечення можливо проводити аналіз записаного відео для визначення інтенсивності руху. При наявності достатніх обчислювальних можливостей система відеоспостереження може визначати параметри транспортних потоків, виступаючи в ролі детекторів.

Порівняльний аналіз сучасних детекторів транспорту показав, що ультразвукові датчики застосовуються на одно- і двосмугових виїздах, по датчику на смугу, якщо є можливість розмістити датчик безпосередньо над контрольною точкою. Типова ситуація - виїзд з магазину/заправки з невеликим потоком машин, в такому випадку зелений сигнал на виїзд дається тільки по сигналу з датчика.

Оглядові камери, по можливості, ставляться на всі перехрестя, які оснащені оптоволоконним зв'язком - таким чином, з'являється можливість візуального контролю ситуації на перехрестях. Крім того, при розгляді конфліктних ситуацій складно переоцінити значимість архіву відеозаписів. В цьому випадку потрібно подбати про відповідну апаратуру записи з достатнім дисковим простором.

Ці ж відеозаписи можна аналізувати за допомогою спеціального програмного забезпечення, отримуючи статистику руху. Такі дані, природно, не придатні для використання дорожнім контролером, тому що виходять з істотною затримкою, але дуже корисні при оновленні / створенні організації руху, або для обліку глобальних змін потоків транспорту. Якщо потрібна тільки статистика

руху, можна обійтися і без оптоволокна - мобільний комплект з камери і відеореєстратора дозволить досить оперативно знімати статистику руху при помірних витратах.

Камери-детектори, мабуть, найбільш універсальний і оптимальний по співвідношенню «ціна-якість» варіант детектора. Прості в установці та налаштуванні, добре справляються з більшістю завдань - контроль стоп-лінії, виявлення черг машин (потрібна окрема камера).

Радарні детектори — останні моделі є практично безкомпромісним рішенням. Свою високу ціну вони компенсують великою дальністю дії, до 160 м, широким захватом, можливістю не просто контролювати певні зони, а повністю супроводжувати машину, контролюючи стан і швидкість. При цьому детектор нечутливий до погоди і освітлення, взагалі не вимагає обслуговування. Налаштування трохи складніше, ніж в камері, але і кількість виданих даних набагато більше. Оптимальний варіант для важливих перехресть, великих магістралей.

Bluetooth-детектори виявляють всі увімкнені Bluetooth пристрої в радіусі 150 м і визначають унікальний код (MAC-адреса) кожного з них. Порівнюючи коди пристроїв з різних детекторів, можна оцінити час, що витрачається на проїзд від одного перехрестя до іншого. Таким чином з'являється можливість інструментальної оцінки ефективності адаптивного управління [122].

Харків продовжує встановлювати ДТ на ВДМ міста. За останнє півріччя камери-детектори були встановлені на вул. Клочківській в районі будинку №50 (рис. 13.1), Мереф'янському шосе в районі будинку №30 (рис. 13.2).

На рис. 13.1 та 13.2 представлені зображення відеокамери фірми HIKVISION DS-2CD7A26G0-IZ(H)S. Це спеціалізована смарт серія з алгоритмом самонавчання, яка здатна розпізнавати з загального потоку інформації транспорт та обличчя людей. Вона має варіофокальний об'єктив та матрицю з роздільною здатністю два мегапікселя [123].



Рисунок 13.1 – Зображення з відеокамер на вул. Клочківський
в районі будинку №50

Відеокамера має такі смарт-функції:

- перетин віртуальної лінії;
- вхід/вихід до/з «регіону»;
- залишені предмети;
- розпізнавання обличчя.



Рисунок 13.2 – Зображення з відеокамер на Мереф'янському шосе
в районі будинку №30

На рис. 13.2 прямокутниками зображено область розпізнаного автомобіля, віртуальна область на дорожньому покритті та перетин віртуальної площини автомобілем.

В момент появи транспортного засобу в «регіоні» (на дорожньому покритті це нанесено дорожньою розміткою) камера визначає, якщо площа автомобіля на 100 % покриває віртуальну область на дорозі та залишається там

заданий час, вона подає сигнал дорожньому контролеру з функцією вхід в «регіон» і модулі адаптивного управління дорожнього контролеру видають команду на переключення сигналу світлофора (Мерефянське шосе в районі будинку №30) або збільшення тривалості сигналу (вул. Клочківська в районі будинку №50). На сьогоднішній день ці камери є оптимальними по співвідношенню «ціна–функціонал».

Відеотехнології останнього покоління перетворили звичайний відеомоніторинг у високоінтелектуальний метод, що дозволяє попереджати операторів про проблеми з трафіком у режимі реального часу. Завдяки штучному інтелекту і алгоритму глибокого навчання можна приймати негайні заходи для забезпечення чистоти смуг руху і комфортного пересування транспорту навіть у найактивніші години [123].

У цьому типі рішень використовуються інтелектуальні камери, встановлені на перехрестях, для моніторингу та складання звітів про потік трафіку в режимі реального часу. Камери працюють без перерви, спостерігаючи потік по смугах руху і підраховуючи транспортні засоби в межах певних областей дороги. Потім дані відправляються у центри управління рухом, де оператори можуть спостерігати за ростом трафіку по всьому місту.

Рішення з управління сигналами дорожнього руху дозволяють координувати роботу світлофорів для забезпечення максимально вільного руху.

В місті Харкові в 2019 році були встановлені трафік-камери (рис. 13.3). Ці камери здатні визначати характеристики транспортного потоку та зберігати інформацію для подальшого аналізу і прийняття відповідного рішення відносно керування дорожнім рухом.

На рис. 13.3 представлені зображення з відеокамери фірми HIKVISION iDS-TCD200-A. Це IP трафік-камера відеоспостереження з варіофокальним об'єктивом та матрицею з роздільною здатністю два мегапікселя [123].



Рисунок 13.3 – Зображення з відеокамер на перехресті
просп. Гагаріна – вул. Драгомирівська

Функції камери iDS-TCD200-A:

- підрахунок транспортних засобів;
- визначення типу транспортного засобу (великий, середній, маленький);
- рівень завантаження (плавний, повільний, в черзі);
- визначення напрямку руху;
- визначення середньої швидкості транспортного засобу;
- зайнятість в просторі;
- довжина черги проходу;
- стан руху траси.

До головних переваг даної відеокамери відносяться:

- можливість ведення відеоспостереження при будь-якому рівні освітлення;
- здатність одночасно спостерігати за рухом на 4 смугах дороги;
- змінний об'єктив;
- багатофункціональність;
- експлуатація в суворих умовах ($-30 \dots +70^{\circ} \text{C}$ при вологості менше 95 %);
- низьке енергоспоживання (6 Вт максимум);
- компактні розміри;
- зрозумілий інтерфейс;
- легкий монтаж;
- високий рівень захисту (IP65).

Для цілісної роботи всієї системи і отримання максимальної інформації від відеокамер необхідне відповідне програмне забезпечення та потужний сервер.

Оскільки управління трафіком зараз стоїть на порядку денному, на інтелектуальні відеотехнології покладають великі надії.

ВИСНОВКИ

На сьогодні для України проблема підвищення безпеки дорожнього руху є актуальною.

Аналіз результатів обстеження використання ременів безпеки показує, що в період з 2015 по 2019 рік відсоток ігнорування ременя безпеки водіями транспортних засобів є досить великим і коливається від 59 % до 75 %.

Звідси випливає, що врегулювання питання з підвищенням самосвідомості громадян в Україні має обов'язково відбуватися на двох рівнях: законодавчому та просвітницько-соціальному.

Для цього повинні проводитися певні кампанії та програми виборчого контролю за застосуванням ременів безпеки, які призведуть до покращення використання ременів безпеки та проявляться в підвищенні рівня їх використання.

Проведені дослідження підтверджують можливість встановлення місця розташування ОП (паркінгів) у ЦДЧ міст із використанням критерію “центр ваги” і наступною оптимізацією координат за критерієм “суми віддалей переміщення користувачів”.

Визначене місце розташування ОП знаходиться найближче до вагової (більшої) частини користувачів і дозволить суттєво зменшити для них пішохідну дистанцію при обслуговуванні автомобілів.

Суттєве зменшення пішохідної дистанції дає певну гарантію залучення більшості користувачів до паркування автомобілів у пропонованому об'єкті мікрорайону і, як наслідок, можливість покращити економічні показники його функціонування.

Актуальним є створення методики та рекомендацій щодо визначення деяких параметрів транспортних потоків із використанням доступних приймачів ГНСС та з урахуванням технічних обмежень та особливостей функціонування приймачів ГНСС та систем ГНСС у цілому.

В усіх країнах світу із збільшенням валового внутрішнього продукту і

середньої заробітної плати кількість автомобілів на 1000 жителів зростає.

В країнах Європейського регіону з великим рівнем автомобілізації спостерігається насичення на рівні 500 – 600 автомобілів на 1000 жителів. Деякі країни (Сінгапур, Китай) вводять примусові обмеження на придбання автомобілів. В країнах з високим рівнем корупції (Лівія, Венесуела, Україна, Сербія, Болгарія, Білорусь та інші) рівень автомобілізації перевищує загальні тренди у відповідних регіонах.

Критерій стійкості дорожнього руху, показник проїжджаємості β транспортного потоку є складовою частиною рівнянь руху у вигляді хвиль щільності, де їм враховується частка нерівномірного розподілу щільності, оскільки N транспортного потоку залежить як від щільності Q , так і від її градієнта dQ/dx , що визначає зміну щільності на одиницю довжини ділянки дороги $N = N(Q) - \beta \frac{dQ}{dx}$.

Розроблена модель ВДМ міста, призначена для відтворення динаміки дорожнього руху по транспортній мережі з метою вирівнювання швидкості руху транспортного потоку на прямолінійних перегонах. Таким чином, розроблено геоінформаційну модель вулично-дорожньої мережі та транспортних потоків, що є необхідним і достатнім для моделювання керуючих параметрів контурного управління на ВДМ міста.

Встановлено, що довжина черги автомобілів, що зупиняються перед «стоп-лінією» перехрестя на сигнал, що забороняє рух, впливає на ритм руху транспортних засобів, що рухаються магістраллю, і тим самим впливає на зміни швидкості потоків і, як наслідок, знижує ефективність координованого управління. Відповідно врахування параметрів транспортних потоків не лише магістрального напрямку, а і другорядних при графоаналітичному розрахунку параметрів координованого управління на міських магістралях дозволить підвищити ефективність організації дорожнього руху.

Зменшувати вплив поворотних потоків на рух магістраллю необхідно не за рахунок зміни циклів світлофорного регулювання, а вирішувати за рахунок

«надлишків» основного такту, які не «обслуговують» «пачки» автомобілів. Саме такі «надлишки» можуть забезпечувати потенціал для обслуговування автомобілів з другорядних напрямків, і звільняти підхід до перехрестя від черги автомобілів з другорядних напрямків. За рахунок чого може забезпечуватись підвищення якості координованого управління на міських магістралях.

Стан СУБДР України, точніше її відсутність та стан безпеки руху в країні вказують на необхідність радикальних та чітких дій щодо формування (удосконалення) чіткої структури з відповідним підпорядкуванням, завданнями, відповідальністю та підходами. Цей процес можливо організувати шляхом іноваційної вітчизняної діяльності із залученням фахівців провідних зацікавлених установ та організацій, або застосуванням сучасного досвіду країн-лідерів з безпеки дорожнього руху – «Бенчмаркінгу».

Сукупність моделей руху транспорту по перегонах надасть змогу отримати динамічні транспортні моделі для подальшого застосування у процесі управління дорожнім рухом. Наявність визначеного діапазону зміни інтенсивності при порівнянні із поточними вимірами інтенсивності детекторами транспорту, дозволить при оперативному управлінні приймати рішення щодо зміни параметрів керуючих впливів, або зміни схеми організації дорожнього руху. Такий підхід при подальших дослідженнях надає змогу розробити системи підтримки прийняття рішень для оперативного управління дорожнім рухом у містах, що сприяє підвищенню ефективності дорожнього руху та працездатності транспортної мережі в цілому.

Результати короткострокового прогнозу тенденцій зміни рівня інтегрального техногенного ризику ТП на елементах опорної ВДМ дають підставу говорити про необхідність своєчасних і періодичних заходів щодо недопущення транспортних колізій з точки зору інтегрального ризику в умовах постійного зростання рівня ентропії ТП. Доведено наявність тісного поліноміальної залежності другого ступеня інтегрального техногенного ризику від інтенсивності і складу ТП.

В сьогоdnішньому світі, який об'єднується загальними світовими тенденціями і проблемами, одна з яких - дорожня аварійність, самим

раціональним напрямком підвищення БДР є використання міжнародного досвіду, а так само об'єднання зусиль при вирішенні загальних автотранспортних проблем для підвищення БДР і для мінімізації рівня смертності в результаті ДТП.

Спираючись на досвід України, в цілому можна констатувати низьку ефективність загального зниження максимальної дозволеної швидкості руху в містах без створення ефективної системи контролю швидкості. Це може служити підтвердженням доцільності використання зонального принципу управління швидкісним режимом на окремих елементах ВДМ великих міст. Відповідна методика повинна спиратися на результати досліджень характеристик дорожнього руху в умовах існуючої транспортної планування міст, враховувати можливості наявної системи контролю швидкісного режиму, існуючі особливості та стереотипи поведінки учасників дорожнього руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна поліція України [Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <http://www.npu.gov.ua>.
2. Верховна рада України [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://rada.gov.ua>.
3. Афанасьев Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, Иларионов В. А. – М.:Машиностроение, 1983. – 212 с.
4. Коршаков И. К. Пассивная безопасность автомобиля / И. К. Коршаков. – М.:МАДИ. – 1979. – 87 с.
5. Залуга В. П. Пассивная безопасность автомобильной дороги / В. П. Залуга, В. П. Буйленко. – М.:Транспорт, 1987. – 189с.
6. Рябчинский А. И. Пассивная безопасность автомобиля / А. И. Рябчинский. – М.: Машиностроение, 1983. – 145 с.
- 7.Савченко А. Современные методы повышения пассивной безопасности автомобиля /А. Савченко //Автостроение за рубежом. – 2007.–№11.–С.13–15.
8. Мигаль В. Д. Техническая безопасность автомобилей : справ. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2011. – 202 с.
9. Ремінь безпеки [Електронний ресурс] Вікіпедія. Вільна енциклопедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ремінь_безпеки.
10. Про Правила дорожнього руху: постанова Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 / Офіційний вісник України від 26.10.2001–2001 р., № 41.
11. Постійне представництво України при відділенні ООН та інших міжнародних організаціях у Женеві [Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <https://geneva.mfa.gov.ua/ua/ukraine-io/who>.
12. Центр демократії та верховенства права [Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <https://cedem.org.ua>.
13. Пособие по размещению автостоянок, гаражей и предприятий технического обслуживания легковнх автомобилей в городах и других населенных пунктах (к СНиП 11-60-75*). –М.: Стройиздат. – 1984.

14. СНиП 2.07.01-89* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – М.: Стройиздат. – 1989.
15. Містобудування. Довідник проектувальника (ДНБ 360.92) / за ред. Т. Ф. Панченко. – К.: Укрархбудінформ. 2001. – 192с.
16. Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів: ДБН В.2.3-15:2007. [Чинний від 2007.08.01]. – К.: Мінбуд України, 2007. – 36 с. – (Національний Стандарт України).
17. Рэнкин В. У. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник. Пер. с англ. / В. У Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт, Дж. К. Оппенлендер. Г. С. Левинсон и др. – М: Транспорт, 1981, – 592 с.
18. Афанасьєв М. Б. Водієві про дорожній рух / М. Б. Афанасьєв. – М.: ДОСААФ, 1980. – 160 с.
19. Рейтинг стран по уровню автомобилизации [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nonews.co/directory/lists/countries/vehicles-capita>
20. Global status report on road safety 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://apps.wdo.int>iris>bitstream>handle>9789241565684>
21. Средняя заработная плата по странам мира 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://fincan.ru/articles/35_srednyaja-zarplata-po-stranam-mira-2018/
22. Блинкин М. Я. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институты / М. Я. Блинкин, Е. М. Решетова. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. – 240 с.
23. Рейтинг стран мира по уровню восприятия коррупции. Центр гуманитарных технологий, 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gtmarket.ru/ratings/corruption-perceptions-index/info>
24. Зарплата по «черному»: сколько украинцев получают деньги в конвертах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://politeka.net/news/economics/819113-zarplata-po-chernomu-skolko-ukraincev-poluchajut-dengi-v-konvertah-vpечatljajushhie-cifry/>
25. В Украине зафиксировали наинизший уровень теневой экономики за 11 лет [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rbc.ua/rus /news/ukraine->

zafiksirovali-samy-nizkiy-uroven-1559294784.html

26. Битва Сингапура против автомобіля [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://gre4ark.livejournal.com/686080.html>
27. The Global Positioning System [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://www.gps.gov/systems/gps/>
28. История развития ГЛОНАСС [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://www.glonass-iac.ru/guide/index.php>
29. Galileo is the European global satellite-based navigation system [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>
30. BeiDou Navigation Satellite System [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/WhitePaper/201806/P020180608507822432019.pdf>
31. GPX: the GPS Exchange Format [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://www.topografix.com/gpx.asp>
32. Агасьянц А. А. К проблеме пропускной способности городских улиц и дорог [Электронный ресурс] / А. А. Агасьянц, Ю. А. Ставничий. – 2007. – Режим доступа : <http://vaksman.by.ru>.
33. Рэнкин В. У. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справочник / В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. – М. : Транспорт, 1981. – 592 с.
34. Богданов О. І. Дослідження процесу розподілу руху по смугах багатосмугових міських магістралей / О. І. Богданов, С. В. Роман, С. С. Кизим. – К.: КНУБА, 2006. – С. 21–30.
35. Гук В. І. Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія / В. І. Гук, Ю. М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
36. Гук В. И. Элементы теории транспортных потоков и проектирование улиц и дорог / В. И. Гук. – К.: УМК ВО, 1991. – 254 с.

37. Маврина И. Н. Стратегический менеджмент: уч. пособие / И. Н. Маврина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 132 с.
38. Ансофф И. Стратегическое управление / И. Ансофф, пер. с англ. - М. : Экономика, 2013. – 285 с.
39. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия / И. Ансофф, пер. с англ. - М : ИНФРА-М, 2013. – 285 с.
40. Голубков А. С. Адаптивное управление дорожным движением на базе системы микроскопического моделирования транспортных потоков / А. С. Голубков, В. А. Царев // Информационно-управляющие системы, №5. – 2010. – С. 15-19
41. Чернобаев М. С. Элементи системного аналізу при вивченні автомобільно-дорожньої системи міста / М. С. Чернобаев, Л. С. Абрамова // Автомобільний транспорт. Збірник наукових праць. - 2006. - вип. 18. - С. 69-71
42. Шарапов О. Д. Системний аналіз. / О. Д. Шарапов, В. Д. Дербенцев, Д. Є. Семьонов. – К.: КНЕУ, 2003. – 154 с.
43. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
44. Фишельсон М. С. Транспортная планировка городов: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 239 с.
45. Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для ВУЗов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
46. Абрамова Л. С. Координированное управление дорожным движением на сети магистралей города: монография / Л. С. Абрамова, Н. С. Чернобаев. – Харьков: Федорко, 2012. – 161 с.
47. Ветлицкий В. Н. Автоматическое управление движением автотранспортных средств. Перспективы и опыт разработки / В. Н. Ветлицкий. - М.: О-во «Знание», 1990. – 28 с.
48. Лукьянов В. В. Безопасность дорожного движения. / В. В. Лукьянов. - М.: Транспорт, 1978. – 245 с.

49. Абрамова Л. С. Проектирование систем управления дорожным движением / Л. С. Абрамова // Праці науково-технічної конференції з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях». Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна - Х.: ФОП «Петрова І.В.», 2010. – С. 14-17
50. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
51. Абрамова Л. С. Программная среда координированного управления транспортными потоками / Абрамова Л. С., Чернобаев Н. С. – Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту №1 – Донецьк: ТОВ «Дончанка-інформ», 2008. - С. 22-25
52. Абрамова Л. С. Имитационная модель управления транспортными потоками / Л. С. Абрамова, Н. С. Чернобаев // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2009, № 47, С. 93-96
53. Управление скоростью: Руководство по безопасности дорожного движения для руководителей и специалистов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.who.int/roadsafety/projects/manuals/speed_manual/ru/
54. Басков В. Н. Оценка условий дорожного движения с учетом показателей транспортного потока / В. Н. Басков, Н. Г. Белобрыкина // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 35. – С. 171–175.
55. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М., Транспорт, 1970.- 188 с.
56. Барышев М. Л. Исследования эффективности автоматизированных систем управления дорожным движением: Методические рекомендации. / М. Л. Барышев, В. И. Драчевский, В. Т. Капитанов. - М.: ВНИЦБД МВД СССР, 1990. - 56 с.
57. Москалева Т. В. Исследование области эффективного применения принудительного регулирования движения на пересечении магистральных улиц: автореф. дис. на получение степени канд. техн. наук ЛИСИ, – Л: 1971.
58. Гудевич Л. В. Регулирование движения транспорта и пешеходов на пересечениях улиц./ Л. В. Гудевич. – М.: Транспорт 1949.

59. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов и факультетов / Ю. А. Кременец. - М.: Транспорт, 1990. - 255 с.
60. Москалева Т. В. Исследование области эффективного применения принудительного регулирования движения на пересечении магистральных улиц: автореф. дис. на получение степени канд. техн. наук ЛИСИ, – Л: 1971.
61. Гаврилов А. А. Моделирование дорожного движения / А. А. Гаврилов. - М.: Транспорт, 1980.- 189 с.
62. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. Пер. с англ. / Д. Дрю. М.: Транспорт, 1972. - 423 с.
63. Капитанов В. Т. Алгоритмы и методы расчета программ координации работы светофорной сигнализации на ЭВМ / В. Т. Капитанов, С. В. Шауро, Л. А. Якушин. МОСКВА, 1978.
64. Аулін В. В. Нормативно-правове забезпечення надійності функціонування транспортних систем в Україні / В. В. Аулін, Д. В. Голуб // Вісник ЖДТУ. 2016. № 2 (77). С. 28-35.
65. Степанов О. В. Сучасні причини виникнення проблем безпеки дорожнього руху / О. В. Степанов // Вестник ХНАДУ, вып. 68, 2015. С. 118-122.
66. Типове положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті (на всіх рівнях - міністерство - підприємство). Наказ Міністерства транспорту України 12.11.2003 № 877. С. 65.
67. Система управління безпекою руху на автомобільному транспорті. Посібник. Партнерський проект Європейського Союзу Твіннінг «Підтримка Міністерства інфраструктури України з питань підвищення безпеки комерційних автоперевезень» (номер UA/14/ENP/TR/43), 2016. С. 123.
68. Кравченко П. А. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации / П. А. Кравченко, Е. М. Олещенко // «Транспорт Российской Федерации», № 2 (75) 2018. С. 14-18.
69. Global Framework Plan of Action for Road Safety. United Nations Road Safety Trust Fund. UNRSTF/AB/2018(1)/4/Rev.1-UNRSTF/SC/2018(1)/4/Rev.1 21 November 2018, Geneva. P. 36.

70. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management (Директива 2008/96/ЄС від 19 листопада 2008 року «Про управління безпекою дорожньої інфраструктури») // База даних законодавство Європейського союзу. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1589356130127&uri=CELEX:32008L0096> (дата звернення: 11.03.2020)
71. Jamroz K. Tools for road infrastructure safety management – Polish experiences / K. Jamroz, M. Budzyński, W. Kustra, L. Michalski, S. Gaca. // 17th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, EWGT2014, 2-4 July 2014, Sevilla, Spain. Transportation Research Procedia, № 3 (2014). P. 730 – 739.
72. Бондар Т.В. Аудит безпеки автомобільних доріг / Т. В. Бондар, Н. А. Бородіна, О. Г. Пина // Дороги і мости, 2018. № 18. С. 171-181.
73. Редзюк А. М. Основні напрямки вдосконалення управління безпекою дорожнього руху / А. М. Редзюк, А. Р. Хабутдінов // Автошляховик України: науково-виробничий журнал, №1-2 (249-250). 2017. С. 18-21.
74. Dupont E. Road safety management investigation model and questionnaire / E. Dupont, H. Martensen, E. Papadimitriou, G. Yannis, N. Muhlrad et al. // IFSTTAR - Institut Francais des Sciences et Technologies des Transports, de l'Amenagement et des Reseaux. 2011. P. 78.
75. ERSO (2008). Road Safety Management, European Road Safety Observatory, retrieved November 28, 2008 from www.erso.eu.
76. Luoma J. Road-safety management in Brazil, Russia, India, and China / J. Luoma, M. Sivak // The University of Michigan, Transportation Research Institute. Report No. UMTRI-2012-1, January 2012. P. 32.
77. Bliss A. Implementing the recommendations of the world report on road traffic injury prevention. Country guidelines for the conduct of road safety management capacity review and the specification of lead agency reforms, investment strategies and safe system projects. / A. Bliss, J. M. Breen // Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. Retrieved on November 8, 2011 from: <http://documents.worldbank.org/curated/en/712181469672173381/pdf/81598-PUBLIC.pdf>.

78. Carvalheira C. G. A road safety management system for medium-sized towns. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. / C. G. Carvalheira, L. Picado-Santos // Municipal Engineer, № 161. 2008. P. 111-116.
79. Товстуха С. О. Актуальні питання щодо удосконалення державноуправлінських механізмів забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні. / С. О. Товстуха // Держ. упр.: удосконалення та розвиток. 2010. № 12. Режим доступу: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=230>.
80. Mooren L. Benchmarking for effective work related road safety management. / L. Mooren, B. Searles, A. Benc, K. Creef, J. Wall // Occupational Safety in Transport Conference, Gold Coast, 9-10 September, 2012. P. 1-10.
81. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) / под ред. В. Н. Луканина, К.-Х. Ленца - М.: Логос, 2002. - 607 с.
82. Луканин В. Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: учеб. пособие для вузов / В. Н. Луканин [и др.]. - М.: ИНФРА-М, 1998. - 408 с.
83. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. - М.: Транспорт, 1993. - 271 с.
84. Бадалян А. М. Оценка уровня безопасности движения на двухполосных дорогах методом имитационного моделирования: дис. ... канд. техн. наук / А. М. Бадалян; МАДИ (ГТУ). - М., 2005. - 321 с.
85. Петров В. В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / В. В. Петров: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 104 с.
86. Абрамова Л. С. Концептуальний підхід до проектування систем управління дорожнім рухом / Є. В. Нагорний, Л. С. Абрамова // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології., Випуск 12 / ХНАДУ. – Х., 2017, с. 94-100.
87. Гасников А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие / Издание 2-е, испр. и доп. А. В. Гасников и др. Под ред. А. В. Гасникова. – М.: МЦНМО, 2013. – 271 с.

88. Lighthill M. J. On kinematic waves. II. Theory of traffic flow on long crowded roads / M. J. Lighthill, G. B. Whitham // Proc. R. Soc. London, Ser. A. 1955. V. 229, p. 281-345.
89. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем – М.: Мир, 1977. – 627 с.
90. Семенов В. В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков / В. В. Семенов. – Москва: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2006 (М.: Ин-т прикладной математики РАН). – 32 с.
91. Kerner B. S. The Physics of Traffic / B. S. Kerner // Berlin: Springer, 2004.
92. Kerner B. S., Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory /B. S. Kerner // Springer, Berlin, New York. – 2009.
93. Helbing D. Traffic and related self-driven many particle systems / D. Helbing // Reviews of modern physics, 2001. V. 73, №4, p 1067-1141, arXiv: cond-mat/0012229.
94. Chowdhury D. Statistical physics of vehicular traffic and some related system / D. Chowdhury, L. Santen, A. Schadschneider // Phys. Rep. 2000, V 329, p. 199-329, arXiv: cond-mat/ 0007053v1.
95. Daganzo C. F. Remarks on traffic flow modeling and its applications / C. F. Daganzo // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://faculty.ce.berkeley.edu/daganzo/Publications/PAPER.PDF>
96. Куржанский А. Б. "Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью" / А. Б. Куржанский, А. А. Куржанский, П. Варайя // Труды МФТИ, 2010. Т. 2. №4. с. 100 – 137.
97. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) / под ред. В. Н. Луканина, К.-Х. Ленца - М.: Логос, 2002. - 607 с.
98. Автотранспортные потоки и окружающая среда: учеб. пособие для вузов / В. Н. Луканин [и др.]. - М.: ИНФРА-М, 1998. - 408 с.
99. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. - М.: Транспорт, 1993. -271 с.

100. Бадалян А. М. Оценка уровня безопасности движения на двухполосных дорогах методом имитационного моделирования: дис. ... канд. техн. наук / А. М. Бадалян; МАДИ (ГТУ). - М., 2005. - 321 с.
101. Указ Президента України «Про Положення про Державну інспекцію України з безпеки на наземному транспорті, із змінами, внесеними згідно з Указом Президента N 506/2013 від 11.09.2013.
102. Постанова Кабінету Міністрів України від 30. жовтня 2008р № 1384-р «Про схвалення Концепції Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху на 2009-2012 роки». — Київ: Рада, 2008.
103. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174 р. «Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року».
104. Положення про Міністерство інфраструктури України: Затверджено Указом Президента України від 12 травня 2011 р. № 581/2011.
105. Автомобільний транспорт в Україні. Нормативна база. – К.: КНТ, АТІКА, 2004. – 504 с.
106. Бесчастний В. М. Державна політика транспортної безпеки України: актуальні питання реалізації / В. М. Бесчастний, А. О. Собакарь // Віче. — 2010. — № 4. — С. 2–5.
107. Подводные камни отмены техосмотра [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://job.ukr.net/news/podvodnye-kamni-otmeny-tehosmotra>
108. Міністерство інфраструктури України. Головна сторінка [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.mtu.gov.ua>
109. Скороходов Д. А. Проблемы безопасности транспорта / Д. А Скороходов, А. Л. Стариченков // Транспортная безопасность и технологии. №2(3), 2005г. — С. 24–27.
110. Сургачев И. .Е. Транспортная безопасность / И. Е. Сургачев. М.:Знание, 2007. — 270 с.
111. Ціна втрат, яким можна запобігти. ДТП в Україні [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://dt.ua/macrolevel/cina-vtrat-yakim-mozhna-zapobigti-dtp-v-ukrayini-262072_.html

112. Доклад о глобальной дорожной безопасности [Электронный ресурс]. -
Режим доступа:
https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/report/ru/
113. The Value of a Statistical Life in a Road Safety Context України [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://www.researchgate.net/publication/277590759_The_Value_of_a_Statistical_Life_in_a_Road_Safety_Context_-_A_Review_of_the_Current_Literature
114. Блинкин М. Я., Решетова Е. М. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции / Монография. // М.: Издат. дом Высшей школы экономики, 2013. - 157 с.
115. ДТП в Харькове 18 октября 2017 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/ДТП_в_Харькове_18_октября_2017_года
116. Kloeden C. N. Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement. /
C. N. Kloeden, A. J. McLean, V. M. Moore, G. Ponte // NHMRC Road Accident Research Unit. The University of Adelaide. – 1997. – pp. 193-198
117. Fieldwick R. The effect of speed limits on road casualties. / R. Fieldwick, R. J. Brown // Traffic Engineering and Control, Vol. 28, 1987. - pp 635-640.
118. Garber N. J. Speed Variance and its Influence on Accidents. / N. J. Garber, R. Gadiraju // Foundation for Traffic Safety, Washington, DC, 1988.
119. Carthy T. On the contingent valuation of safety and the safety of contingent valuation: Part 2 - The CV/SG “chained” approach. / T. Carthy, S. Chilton, J. Covey, L. Hopkins, M. Jones-Lee, G. Loomes, N. Pidgeon, A. Spencer // Journal of Risk and Uncertainty, 17(3), 187, 1998. – p. 213.
120. Статистика ДТП в Україні [Электронный ресурс]. - Режим доступа:
<http://patrol.police.gov.ua/statystyka/>
121. ДСТУ 4157-2003 Засоби технічні периферійні автоматизованих систем керування дорожнім рухом.
122. Потапенко А. И. Система автоматического распознавания изображений машин на кадрах видеопотока / А. И. Потапенко // Вісник ХНАДУ. – Вип. 61-62. - 2013.- С.269-272.
123. HIKVISION [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://hikvision.com>.