

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 економ. наук, проф.

Ілля ДМИТРИЄВ

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

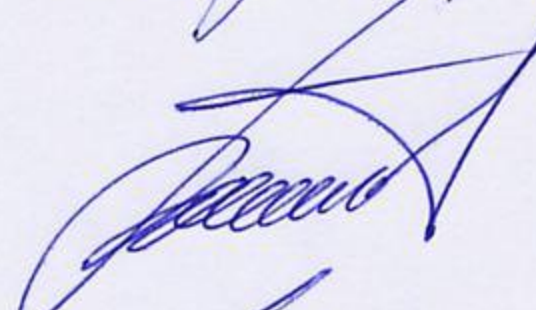
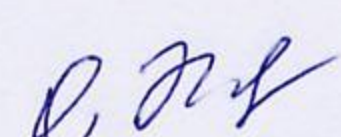
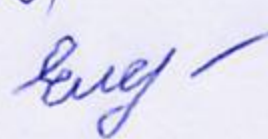
Декан факультету транспортних систем,
канд. економ. наук, проф.

Юрій БЕКЕТОВ

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

Іван НАГЛЮК

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР зав. кафедри ОіБДР д-р техн. наук, професор		Іван Наглюк (розділ 1, загальне редагування)
Д-р техн. наук, професор		Олексій Степанов (розділ 11)
Д-р. техн. наук, професор		Людмила Абрамова (розділ 6)
Канд. техн. наук, доцент		Анатолій Бажинов (розділ 10)
Канд. техн. наук, доцент		Валерій Ширін (розділ 7)
Канд. техн. наук, доцент		Олександр Рябушенко (розділ 12)
Канд. техн. наук, доцент		Ольга Холодова (розділ 2)
Канд. техн. наук, доцент		Наталія Семченко (розділ 4)
Канд. техн. наук, доцент		Олена Запорожцева (розділ 5)
Канд. техн. наук, доцент		Сергій Капінус (розділ 9)
Канд. техн. наук, доцент		Геннадій Птиця (розділ 8)
Ст. викл.		Олена Левченко (розділ 13)
Асистент		Дмитро Засядько (реферат, вступ, розділ 3, висновки, верстка)

Відділ акредитації, стандартизації
та якості навчання



РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 152 с., 44 рисунки, 26 таблиць, 134 джерела.

ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНА ПРИГОДА,
ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, ШВИДКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ,
ПОКАЗНИКИ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ЗАХОДИ З ОРГАНІЗАЦІЇ
ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ВЕЛОСИПЕДНИЙ РУХ

Об'єкт дослідження — процес руху транспортних засобів та пішоходів у транспортних системах міст та на заміських дорогах загального користування.

Розглянуто шляхи вирішення питання підвищення активної та пасивної безпеки на дорогах, досліджено зміни обсягів транспортного екологічного навантаження на прикладі м. Харків. Розглянуто питання доцільності визначення параметрів руху у великих містах із урахуванням динаміки транспортних потоків. Наданий опис практичної реалізації контурного управління рухом на вулично-дорожній мережі м. Харків. Визначена оцінка впливу елементів велосипедної інфраструктури на ефективність функціонування перехресть.

Мета роботи — підвищення безпеки руху на підставі дослідження закономірностей дорожнього руху у містах, на заміських дорогах, залізничних переїздах.

Методи дослідження — математичне та імітаційне моделювання руху транспортних потоків, зокрема велосипедних потоків, аналіз показників безпеки, ймовірнісні методи визначення ризиків виникнення ДТП та законів розподілу параметрів руху транспортних потоків.

Проведено аналіз транспортної та соціальної безпеки дорожнього руху в Україні та за кордоном. Надані результати щодо підвищення безпеки дорожнього руху, визначені перспективні заходи з організації дорожнього руху, які впливають на безпеку дорожнього руху та підвищення його ефективності. Наведено імітаційні моделі руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі м. Харків.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Розмір штрафів та використання ременя безпеки водія	8
2 Дослідження екологічного навантаження на міських дорогах в м. Харків	15
3 Дослідження ефективності дорожнього руху у центральних частинах великих міст з радіальною планувальною структурою	25
4 Дослідження рівня аварійності за показниками соціального і транспортного ризиків	31
5 Початок динаміки трафіку	47
6 Практична реалізація контурного управління дорожнього руху на вулично-дорожньої мережі міста	54
7 Оцінка впливу основних параметрів транспортних потоків на ефективність управління рухом	66
8 Прогнозування ділянок підвищеної небезпеки на автомобільних дорогах	76
9 Оцінка впливу елементів велосипедної інфраструктури на ефективність функціонування перехрестя	89
10 «Розумні» дороги – автомобільні дороги майбутнього та їх вплив на безпеку дорожнього руху	99
11 Академічна доброчесність як атрибут сучасної освіти	107
12 Дослідження закону розподілу швидкостей вільного руху автомобілів на ділянках ВДМ міста	110
12.1 Аналіз проблеми визначення розподілу швидкостей руху транспортних засобів	110
12.2 Аналіз методів експериментальних досліджень розподілу фактичних швидкостей ТЗ	112
12.3 Описання методики збору експериментальних даних	113
12.4 Побудова розподілів швидкостей вільного руху ТЗ на ділянках ВДМ міста	116

12.5 Визначення законів розподілу швидкостей вільного руху	121
12.6 Обробка експериментальних даних швидкостей вільного руху для ділянок ВДМ міста Харкова	122
13 Дослідження параметрів транспортного потоку на магістралях міста	130
Висновки	135
Перелік посилань	140

ВСТУП

Транспорт, зокрема автомобільний, є найважливішою структурною складовою економіки країни. Транспортні системи потребують постійного розвитку та вдосконалення. При цьому зі зростанням автомобілізації населення виникають нові транспортні проблеми, які впливають на безпеку дорожнього руху та засоби організації і управління. Україна спрямована на інтеграцію до європейського суспільства, що підкреслює актуальність досліджень.

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

У даному звіті наведені результати НДР за такими напрямками:

- удосконалення методів організації дорожнього руху;
- визначення параметрів вулично-дорожніх мереж великих та значних міст;
- формування систем паркінгів та удосконалення організації дорожнього руху у центральних частинах великих міст;
- удосконалення алгоритмів управління дорожнім рухом у містах;
- розробка моделей параметрів транспортних потоків;
- шляхи застосування даних від глобальних навігаційних супутникових систем та відеодетекторів транспорту для підвищення безпеки дорожнього руху;
- вплив швидкісного режиму на показники якості дорожнього руху;
- визначення ризику виникнення ДТП на дорогах загального призначення.

1 РОЗМІР ШТРАФІВ ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕМЕНЯ БЕЗПЕКИ ВОДІЯМИ

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 (ДТП), зокрема у місті Харків понад 10 тисяч. Види ДТП можуть бути різними: зіткнення, перекидання, наїзди, тощо. ДТП виникають 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 із лідерів серед європейських країн [2].

Сучасний автомобіль є джерелом підвищеної небезпеки. Постійне зростання потужності та швидкості автомобіля, велика щільність руху автомобільних потоків значно збільшує імовірність аварійної ситуації. Безпека транспортного засобу включає комплекс конструктивних і експлуатаційних властивостей, що знижують ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод, тяжкість їх наслідків і негативний вплив на навколишнє середовище. Розрізняють активну, пасивну, післяаварійну та екологічну безпеку транспортного засобу [3 - 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].

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 [10].

Говорячи про проблему ігнорування ременя безпеки, 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 здатне 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 таблиці 1.1 [12].

Таблиця 1.1 – Штрафи за ігнорування ременів безпеки

Країна	Штраф за ігнорування ременів безпеки	
	Євро	Гривня
Ісландія	80	2640
Ірландія	60	1980
Велика Британія	113	3729
Норвегія	160	5280
Швеція	156	5148
Фінляндія	70	2310
Данія	155	5115
Естонія	200	6600
Латвія	30	990

Країна	Штраф за ігнорування ременів безпеки	
	Євро	Гривня
Литва	30	990
Португалія	120	3960
Іспанія	300	9900
Кіпр	85	2805
Мальта	47	1551
Італія	80	2640
Словенія	120	3960
Хорватія	67	2211
Сербія	82	2706
Албанія	113	3729
Греція	350	11550
Боснія і Герцеговина	50	1650
Македонія	50	1650
Чорногорія	40	1320
Франція	135	4455
Бельгія	50	1650
Нідерланди	140	4620
Німеччина	30	990
Австрія	35	1155
Швейцарія	104	3432
Люксембург	145	4785
Чехія	77	2541
Польща	23	759
Білорусь	10	330
Україна	1,6	51
Румунія	32	1056
Болгарія	25	825

Країна	Штраф за ігнорування ременів безпеки	
	Євро	Гривня
Угорщина	48	1584
Молдова	15	495
Словаччина	60	1980

Статистика цих країн показує, що такі заходи влади і правда дієві: у Франції 99 % водіїв користуються ременями безпеки, у Чехії — 97 %, у Словенії — 93 %, у Польщі — 83 %.

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 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. Зате після введення штрафу збільшився до 90 %. У 1991 році користування ременем стало обов'язковим для водія та пасажирів, і рівень свідомості громадян зріс з 10 % до 40 %.

За результатами онлайн-дослідження «Сприйняття та використання пасків безпеки водіями та пасажирями», проведеного в містах Київ, Маріуполь, Харків, Одеса та Львів у рамках кампанії “Пристібайся — не жахайся”, 53,6 % опитаних вважають достатнім штраф до 600 грн., щоб вони почали пристібатися, а для 30 % він має бути понад 1000 грн. Саме така сума змусить подбати про власну безпеку в автомобілі. Крім того, третина респондентів вважає дієвим штраф від 1001 до 1500 грн., а дві третини зазначили, що тільки штраф у розмірі 1501–2000 грн. змусить їх скористатися ременем безпеки [13].

Якщо глянути трохи глибше, проблема ігнорування ременів безпеки криється в менталітеті середньостатистичного громадянина України. Вона відома як «правовий нігілізм». Він проявляє себе у навмисному нехтуванні вимогами права, закону, правових форм організації суспільних відносин, однак виключає злочинний

намір. Зазвичай, це разові порушення правил дорожнього руху на кшталт проїзду на червоне світло або стихійне явище у вигляді постійного перевищення допустимої швидкості. При цьому, мало в кого виникають сумніви в некоректності подібних дій. У випадку з ременями безпеки ситуація доходить до абсурду. Більшість сучасних моделей АТЗ мають звукові запобіжники, які перешкоджають комфортному пересуванню з не пристебнутими ременями, нагадуючи про необхідність пристебнутись. Незважаючи на те, що ця функція має сенс, водії почали використовувати спеціальні блокатори (відомі в масах як заглушки), що блокують запобіжні функції. На жаль, це нехтування є причиною більшості летальних випадків внаслідок аварій. Під час обстеження використовувався візуальний метод, обираючи 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, вантажних автомобілів, мікроавтобусів та не включено водіїв маршрутного міського, приміського та міжміського громадського транспорту

В період з 2015 по 2020 роки обстеження проводились в різних частинах міста Харків. Результати проведеного обстеження представлені в таблиці 1.2.

Аналіз результатів обстеження показує, що в період з 2015 по 2020 рік відсоток ігнорування ремня безпеки, водіями транспортних засобів є досить великим і коливається від 54 % до 75 %.

Питання підвищення самосвідомості громадян в Україні має обов'язково вирішуватись 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.

Таблиця 1.2 – Результати обстеження

Рік проведення обстеження	Кількість обстежених АТЗ	Водії, що користуються ременями безпеки		
		кількість	середня кількість на 20 АТЗ	частка, %
2015	860	215	5	25
2016	140	43	6	31
2017	720	216	6	30
2018	400	165	8	41
2019	620	225	7	36
2020	260	120	9	46

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА МІСЬКИХ ДОРОГАХ В М. ХАРКІВ

У економічно розвинених країнах світу, не виключаючи України, нестримно зростає рівень автомобілізації, у зв'язку з чим однією з проблем сучасного міста є постійне зростання транспортного та екологічного навантаження [14-16], а особливо, в його центральній діловій частині. Міста України, і в першу чергу такий мегаполіс як Харків, що постійно розвивається, страждають від багатокілометрових вуличних заторів. Перевантаженість вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста транспортними потоками (ТП) супроводжується зростанням числа дорожньо-транспортних пригод (ДТП), надмірним забрудненням навколишнього середовища відпрацьованими газами та іншими шкідливими речовинами.

Якість атмосферного повітря в місті на 80 % залежить від транспортних засобів (ТЗ), при цьому в середньому від одного легкового автомобіля в повітря викидається близько 1 кг забруднюючих речовин на добу, а на холостому ходу викид зростає в 2,5 рази [17]. Крім того, транспортні засоби виробляють від 60 до 80 % шуму в місті, що оказує негативний вплив на умови життя населення міста.

Викиди відпрацьованих газів автотранспорту містять такі шкідливі речовини, як оксид вуглецю, діоксид азоту, сажу, бенз(а)пірен [18]. Ступінь забруднення атмосфери на вулицях Харкова з інтенсивним рухом автотранспорту залишається помірно небезпечним. Найбільше забруднення атмосферного повітря виявлено на великих транспортних магістралях міста: Полтавському шляху, вул. Сумській, вул. Плеханівській, просп. Московському, просп. Героїв Сталінграду.

За відомостями Головного управління статистики (ГУС) в Харківській області за останні роки зменшуються обсяги викидів від стаціонарних джерел і зростають обсяги викидів від пересувних джерел, в основному, за рахунок автотранспорту. Основними чинниками інтенсивного забруднення атмосфери автотранспортом є: постійно зростаюча кількість автотранспорту; експлуатація технічно застарілого автомобільного парку; низька якість паливно-мастильних матеріалів; недостатня

пропускна спроможність дорожньо-транспортної мережі, яка сформувалась в умовах існуючої забудови, особливо в центральній частині міста; незадовільний стан дорожнього покриття проїзної частини доріг [19, 20].

Вирішити проблему можна комплексно впливаючи на рівень забруднення повітря [21-23] за трьома напрямками: по-перше, зменшенням токсичності викидів від кожного окремого автомобіля шляхом удосконалення окремих агрегатів та використання більш безпечних видів палива; по-друге зниженням концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі за рахунок раціонального планування та забудови примігистральних територій, а також газозахисних споруд та озеленення; в-третьє, зменшенням обсягів викидів від ТП на магістралях шляхом удосконалення транспортно-планувальних характеристик ВДМ та покращення організації дорожнього руху (ОДР).

До останнього напрямку відносяться введення світлофорного регулювання, обмеження загальної інтенсивності транспортних потоків (ТП), корегування їх складу, виділення безтранспортних зон, утворення пішохідних зон, будівництва паркінгів, у тому числі підземних для відстою ТЗ та ін. Особливо це стосується центральних ділових частин міст (ЦДЧМ), де озеленення або застосування інженерних споруд у більшості випадках не можливо чи недоцільно із-за відсутності необхідної території чи по естетичним розумінням. Тобто краще всього назвати це розробкою комплексних схем ОДР.

Оскільки було зазначено, що основним чинником забруднення атмосферного повітря є збільшення кількості автотранспорту, нами було вирішено отримати дані щодо розміру рівня автомобілізації в м. Харків.

Для дослідження рівня автомобілізації використовуємо модель, отриману кафедрою транспортних систем і логістики ХНАМГ [24], оскільки в результаті аналізу даних Генерального плану розвитку м. Харків (2004–2026) [25] виявлено, що дані для моделювання недостатньо, а наявні дані не співпадають з даними прогнозування рівня автомобілізації за роками, використаними в [24].

Отримана модель залежності рівня автомобілізації від часового фактору в [24] має наступний вигляд

$$A = 60,43 \cdot t^{0,29}, \quad (2.1)$$

де A - рівень автомобілізації, авт./1000 мешканців міста;

t - номер року спостережень.

Така модель надає можливість визначити рівень автомобілізації в необхідні роки. Для дослідження нами обрані 1998 — 2007 роки, оскільки вдалося зібрати інформацію по забрудненню атмосферного повітря саме за цей період [19].

В таблиці 2.1 наведені дані, отримані з [19, 24], які будуть використані при побудові моделі залежності викидів забруднюючих речовин від рівні автомобілізації в м. Харків.

Зменшити екологічне навантаження можна також і за рахунок підбору оптимальних комплексних схем ОДР. Для оцінки впроваджених результатів можливо використовувати методику прогнозування зміни забруднення навколишнього середовища за концентрацією окису вуглецю на міських дорогах з урахуванням ОДР [26].

В даній роботі зроблена спроба надати практичні рекомендації, послідовне виконання яких дозволить визначити найбільш раціональне поєднання заходів зі зниження екологічного навантаження в містах шляхом удосконалення ОДР на ВДМ міста.

В першу чергу необхідно провести аналіз отриманих статистичних даних. Для цього в програмному забезпеченні Statistica 6.0 побудовано моделі розподілу вихідних даних, які свідчать, що обидва параметри мають достатній коефіцієнт детермінації, тому можуть бути використані в дослідженнях.

Наступним кроком було отримання моделі залежності розмірів викидів шкідливих речовин в залежності від рівня автомобілізації. Вихідні дані для моделювання представлені у табл. 2.1. Отримані моделі, що представлені у табл. 2.2, є адекватними зі схожими коефіцієнтами детермінації і можуть бути використані для моделювання. На рис. 2.1 представлена залежність з найвищим коефіцієнтом детермінації.

Таблиця 2.1 - Статистичні дані

Рік	Номер року спостережень, t	Рівень автомобілізації, A , авт./1000 мешк.	Рівень забруднення атмосферного повітря, P , тис. т.
1998	1	60,43	51,66
1999	2	73,89	58,47
2000	3	83,109	52,28
2001	4	90,339	67,1
2002	5	96,379	71,5
2003	6	101,61	75,2
2004	7	106,25	78,5
2005	8	110,45	76,4
2006	9	114,28	83,55
2007	10	117,83	68,76

Але важливо зазначити, що при прогнозуванні викидів шкідливих речовин при зміні рівня автомобілізації слід враховувати зміни за роками у складі транспортного потоку (більш досконалі ТЗ, збільшення частки електромобілів і т. ін.).

Від рівня автомобілізації залежать параметри ТП, які в свою чергу взаємопов'язані з показниками функціонування транспортної мережі і визначають якісні характеристики дорожнього руху у містах [27], в тому числі і екологічну безпеку в містах. Отже отримані залежності дозволяють спрогнозувати рівень екологічної безпеки в містах в залежності від рівня автомобілізації на перспективу.

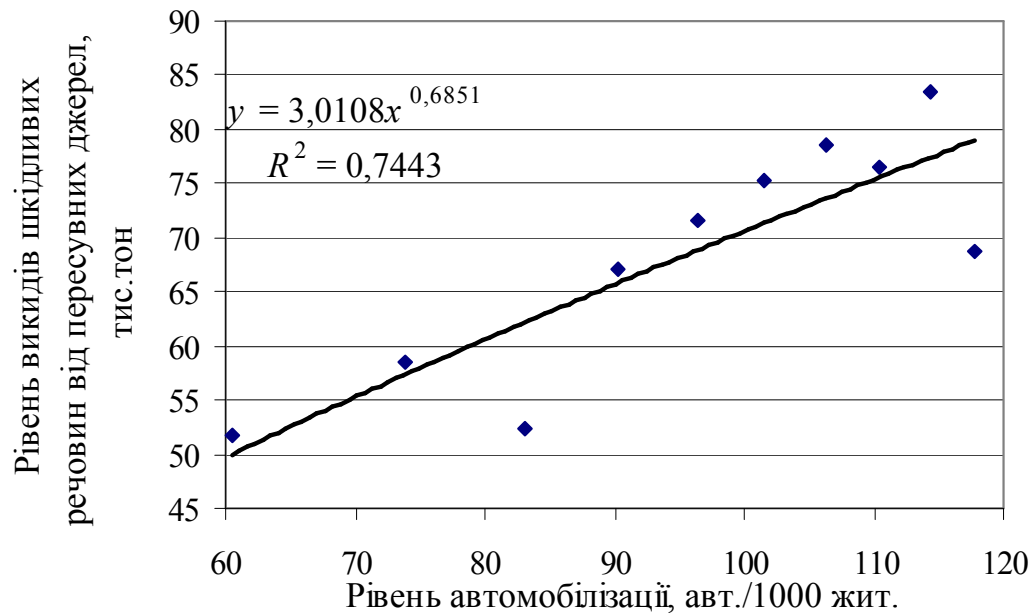


Рисунок 2.1 - Залежність викидів шкідливих речовин від рівня автомобілізації з найвищим коефіцієнтом детермінації

Таблиця 2.2 - Характеристика однофакторних моделей залежності викидів шкідливих речовин від рівня автомобілізації

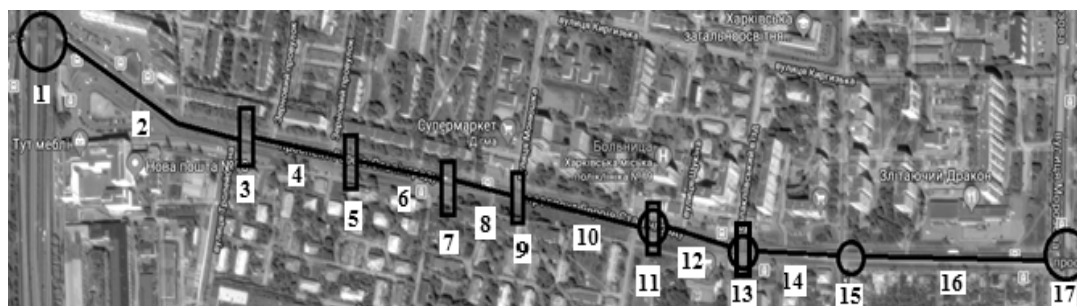
Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації	Стандартна помилка	Критерій Фішера	Ймовірність, p
$Y = 31,9998 \cdot e^{0,0078x}$	0,74051	0,091	$F(1,8)=22,82951,66$	0,00139
$Y = 3,0108 \cdot x^{1,102}$	0,74434	0,091	$F(1,8)=23,2912$	0,00131
$Y = -0,0026x^2 + 0,981x - 0,5349$	0,73545	6,424	$F(2,7)=9,73$	0,00952
$Y = 44,253 \cdot \ln x - 132,54$	0,72944	6,077	$F(1,8)=21,56809$	0,00166
$Y = 0,5065x + 19,992$	0,72984	6,072	$F(1,8)=21,6118$	0,00165

Для апробації методики визначення рівня забруднення повітря на міській дорозі була обрана ділянка однієї з вулиць Слобідського району м. Харків по просп. Героїв Сталінграду – від просп. Гагаріна до вул. Морозова (див. рис. 2.2).



Рисунок 2.2 - Досліджена ділянка на карті міста

В першу чергу ділянка поділилась на 17 зон в залежності від типу організації руху на ній (див. рис. 2.3, рис. 2.4).



- - регульоване перетинання;
- - пішохідний перехід;
- ◻ - регульований пішохідний перехід (з викликом).

Рисунок 2.3 - Схема об'єкту дослідження

Для кожної зони окремо визначалась концентрація окису вуглецю (CO) в mg/m^3 за методикою [25], де змінювались схеми ОДР. В результаті отримані розміри викидів в залежності від типу ОДР (див. рис. 2.5).

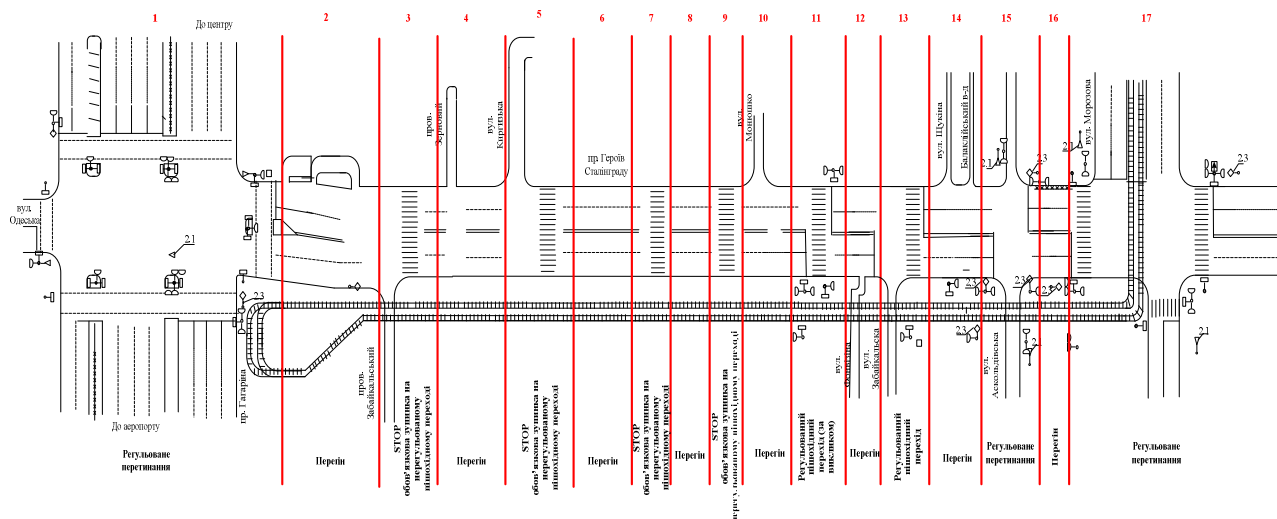


Рисунок 2.4 - Зони ділянки з типом ОДР

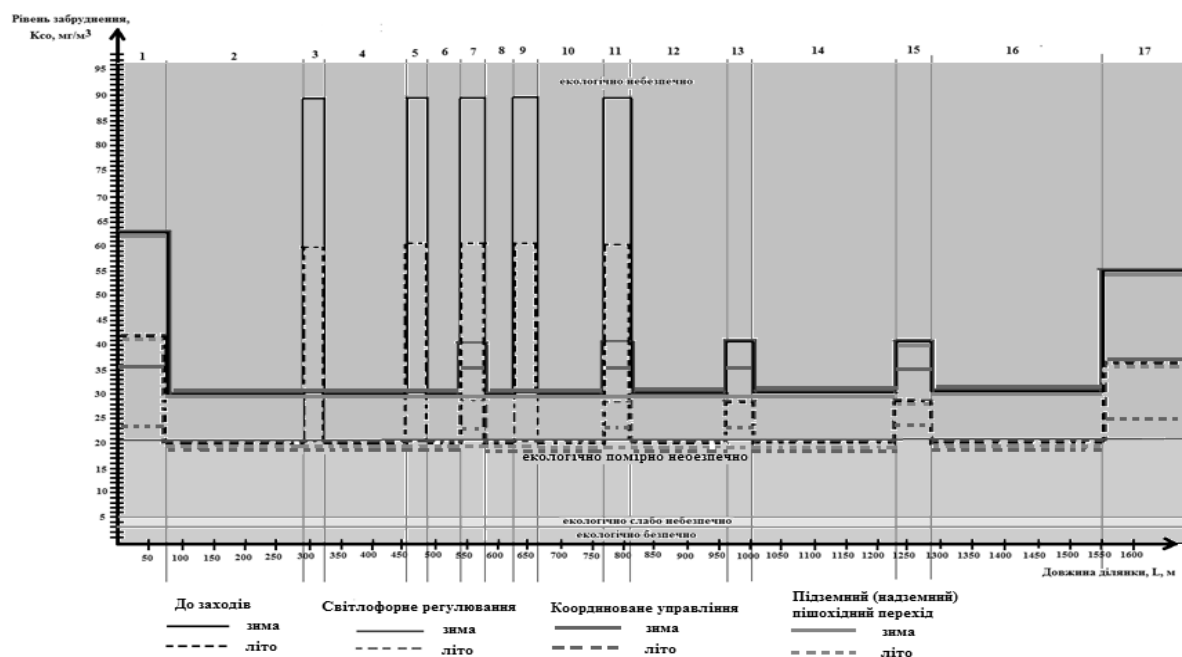


Рисунок 2.5 - Залежність рівня викидів оксиду вуглецю від схем ОДР

Оскільки об'єкт дослідження є достатньо значущою магістраллю районного значення із сформованою забудовою і планувальною структурою, то застосування інженерних захисних споруджень (стінки-екрани, виїмки, насипи) і озеленення у районі неможливо, а недоцільно через відсутність необхідної території. У цьому

випадку вирішальне значення набувають поряд з удосконаленням транспортно-планувальних характеристик ВДМ і поліпшенням ОДР введення світлофорного регулювання та його автоматизація [28], обмеження інтенсивності ТП, зміна складу ТП, створення безтранспортних зон та зон з обмеженим доступом транспорту. Однак результати розрахунків довели, що введення світлофорного регулювання дорожнім рухом зовсім не виключають екологічно небезпечної ситуації.

У складних умовах реконструкції ВДМ будь-яких зон міст зі сформованою забудовою можуть застосовуватися примусові заходи щодо обмеження швидкості руху ТЗ та обмеження деяких типів ТЗ. У проектній практиці існують різні варіанти створення таких зон: пішохідні, житлові, зони з обмеженим доступом транспорту, зони обмеження швидкості ТЗ [29, 30].

Наприклад, на об'єкті дослідження можна було б ввести координоване управління [31], оскільки для введення “зеленої хвилі” потрібно мінімум дві смуги руху у кожному напрямку. На просп. Героїв Сталінграду є дві смуги руху і довжина ділянки 1600 м, але довжина деяких перегонів з урахуванням регульованих пішохідних переходів не перевищує 200 м, тому робимо висновок, що введення координованого управління не доцільне. Замість локального світлофорного регулювання можливо було б ввести координоване керування рухом, проігнорувати умови введення. Тобто на ділянках 1, 7, 11, 13, 15 та 17 змінити тип ОДР зі світлофором на АСУ, але результати розрахунків свідчать, що введення АСУ дорожнім рухом також не виключають екологічно небезпечної ситуації.

Варіант введення одностороннього руху на пр. Героїв Сталінграду викликає потребу в будівництві об'їзної дороги та великих витрат, пов'язаних з перенесенням тролейбусно-контактної мережі. Для цього можна знайти територію, але потрібні великі капітальні вкладення і це не виключає виникнення екологічно небезпечної ситуації. Варіант пускати ТЗ по суміжних вулицях також не виключає значних витрат та екологічного навантаження на них.

Вздовж усього об'єкту дослідження є центри тяжіння транспорту (поліклініка, кафе, магазини, ринок, офіси), що призводить до збільшення руху ТЗ та формування білатротуарних стоянок (хоча стоянка заборонена). На більшості таких магістралей

міста є стоянки з обох боків руху ТЗ (наприклад, пр. Олександрівський, вул. Плеханівська), що призводить до зменшення пропускної здатності проїзних частин, оскільки у кожному напрямку одна смуга руху зайнята для паркування ТЗ. Робимо висновок, що одним з найоптимальніших рішень зміни ОДР на об'єкті дослідження є заборона паркування ТЗ на краю проїзної частини вздовж тротуару. Наприклад, це суттєво вплине на швидкісний режим руху на вулиці, а заборона паркування ТЗ з одного боку проїзної частини призведе до зменшення черги очікування ТЗ, тобто зміниться час роботи двигуна на холостому ходу, що вплине на рівень забруднення.

У містах підвищити безпеку руху пішоходів можна за рахунок введення регульованих пішохідних переходів [32]. Але більш сприятливим заходом для поліпшення екологічної безпеки було б будівництво надземного чи підземного пішохідного переходу. Як раз, у районі дослідження існує потрібна територія для будівництва надземних та підземних пішохідних переходів (тим більше, що нами штучно була скорочена їх кількість), до речі занадто щільна підземна мережа комунікацій не дозволяє будувати останні, а надземні потребують великі капітальні вкладення.

Можливо, організувати зміну світлофорного регулювання на більш завантажених перехрестях (просп. Героїв Сталінграду – просп. Гагарина – вул. Одеська), щоб у часи “пік” цикл світлофора змінювався та призводив до зменшення затримок руху ТЗ, але це нововведення потребує встановлення додаткового обладнання, а саме модуля синхронізації часу за сигналами GPS.

Побудовані моделі залежності рівня забруднення атмосферного повітря в залежності від рівня автомобілізації дозволяють спрогнозувати рівень екологічної безпеки в містах на перспективу.

Аналіз результатів досліджень показав, що по просп. Героїв Сталінграду у м. Харків рівень забруднення повітря відповідає рівню «екологічно небезпечно». Запропонований варіант зниження забруднення за рахунок введення світлофорного регулювання (або координованого управління) надає можливість знизити забруднення в 2,5 рази (на 60 %).

Наведені практичні рекомендації з поліпшення екологічного навантаження підтверджують необхідність підбору найбільш раціональних сполучень заходів з ОДР. Але навіть найкращі сполучення не в змозі зменшити гранично допустимі концентрації. Вирішити проблему можливо при комплексному підході: зменшення токсичності викидів від кожного окремого ТЗ, раціональне планування та забудова примігистральних територій, а також газозахисних споруд та озеленення і головне удосконалення транспортно-планувальних характеристик ВДМ разом з поліпшенням ОДР.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У ЦЕНТРАЛЬНИХ ЧАСТИНАХ ВЕЛИКИХ МІСТ З РАДІАЛЬНОЮ ПЛАНУВАЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

Розвиток автомобільного транспорту окрім безумовно позитивних для суспільства переваг приносить також і багато проблем, однією з яких є транспортні затори у великих містах. Причини транспортних заторів є різноманітними: нестача пропускної спроможності певних ділянок вулично-дорожньої мережі, недоліки у організації дорожнього руху, недоліки містобудівного характеру, зокрема у транспортному плануванні міста. Значна кількість великих міст мають радіальну або радіально-кільцеву планувальну схему [33]. Перевагами такої схеми є можливість порівняно швидко дістатися центральної частини міста з периферійних районів [33]. Недоліком такої схеми є те, що через центр міста проходять також транзитні потоки, тобто, ті транспортні кореспонденції, для яких центр міста не є ані місцем відправлення, ані місцем призначення. І частка таких кореспонденцій може сягати 70 % [34]. Ситуація ускладнюється також тим, що зазвичай центр міста має давню історичну забудову, через що його вулиці мають недостатню ширину та пропускну спроможність. Крім того, ця пропускна спроможність додатково знижена через припарковані вздовж тротуарів автомобілі.

Шляхи розв'язання проблеми транспортних заторів у центрі міста можна умовно розділити на п'ять групи [35]:

- а) збільшення пропускної спроможності наявних вулиць та побудова нових проїздів;
- б) зниження інтенсивності транспортних потоків через заборону чи обмеження в'їзду у центр міста та паркування у ньому певним категоріям транспортних засобів за певними критеріями;
- в) удосконалення організації дорожнього руху у місті без побудови нових доріг та обмежень в'їзду;
- г) удосконалення маршрутів міського пасажирського транспорту;

д) комбінація вищезгаданих груп заходів.

Нажаль, кожна з цих груп заходів має свої складності в реалізації. Так, розширення проїжджої частини вулиць у центрі часто неможливе через необхідність знесення або переміщення будівель, які є історичною цінністю. Обмеження у пересуванні автомобілем у центрі міста погіршує соціальну та бізнесову активність, що негативно впливає на економічні показники.

Одним зі шляхів зниження транспортного навантаження на центр міста у містах з радіальним та радіально-кільцевим транспортним плануванням є створення транспортних кілець саме навколо центру, іноді у вигляді естакад, а також діаметрально розташованих естакад, які беруть на себе основні транзитні, відносно до центру міста, транспортні потоки, що надходять до центру по радіальних магістральних вулицях [36]. У даному випадку критерієм віднесення певної ділянки території міста до центральної частини окрім географічного розташування та ділової активності є також наявність транспортних заторів та проблем із паркуванням [37, 38].

При побудові естакад або наземних транспортних кілець основними питаннями є вибір місць розташування транспортних зв'язків та визначення пропускної спроможності цих ділянок. Вибір місць проходження ділянок кільця чи естакад є комплексною проблемою, оскільки потребує залучення фахівців не лише з організації дорожнього руху, але й геодезистів, архітекторів та інших фахівців.

У загальному випадку бажано розміщувати ці транспортні кільця якомога ближче до центру міста, оскільки при цьому зменшуються пробіги автомобілів та час пересування між діаметрально розташованими периферійними районами у порівнянні з пересуванням по кільцевій дорозі, що розташована на відстані від центра (рис. 3.1).

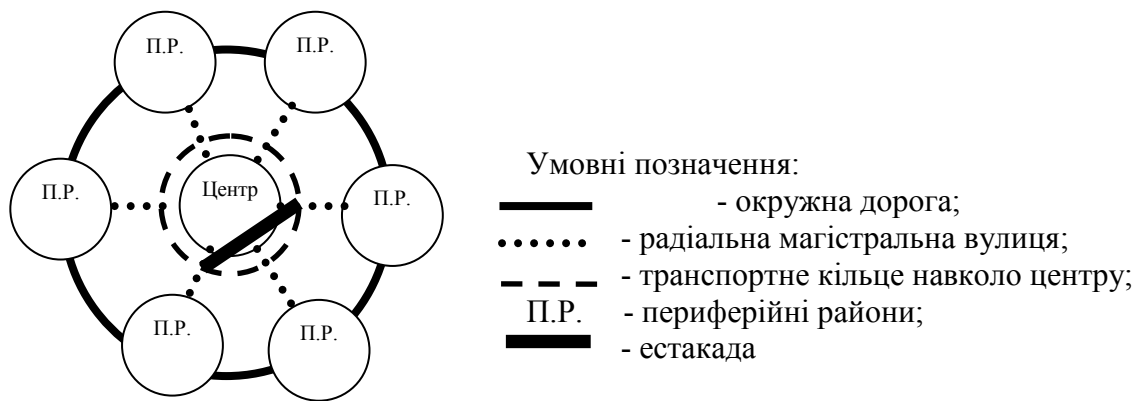


Рисунок 3.1 – Планувальна схема міста

Величина необхідної пропускної спроможності майбутньої дороги визначає потрібну ширину її проїжджої частини, що в свою чергу, впливає на кошторис будівництва та вірогідну необхідність знесення або переміщення навколишніх будівель та інших споруд у місті.

Для визначення величини необхідної пропускної спроможності кожної майбутньої кільцевої ділянки необхідно заздалегідь розрахувати величину максимальної інтенсивності транспортних потоків на ділянках та передбачити певний запас пропускної спроможності задля уникнення заторів на цих ділянках при подальшому зростанні автомобілізації. Пропонується це проводити у чотири етапи.

Перший етап: обстеження сучасного стану вулично-дорожньої мережі та транспортних потоків на ній

Другий етап: визначення величини транзитних відносно центральної частини міста транспортних потоків, розрахунок величин та напрямків транзитних транспортних кореспонденцій

Третій етап: створення моделі транспортної мережі з урахуванням нових майбутніх ділянок.

Четвертий етап: розрахунок інтенсивності транспортних потоків на майбутніх кільцевих ділянках та визначення необхідної пропускної спроможності та ширини проїжджої частини кожної ділянки.

Отримання інформації щодо поточного стану та топології вулично-дорожньої мережі проводиться за допомогою аерофотозйомки, відеозйомки під час руху

ділянками мережі та за допомогою пересувних (ходових) лабораторій [39]. Визначення параметрів транспортних потоків робиться за допомогою натурних спостережень у ключових місцях вулично-дорожньої мережі (на перерізах основних вулиць, на важливих перехрестях, тощо). Рекомендується використовувати детектори транспорту різних типів [40].

Для спрощення першого етапу досліджень пропонується змінити підхід до опису вулично-дорожньої мережі та подальшого її моделювання. Модель вулично-дорожньої мережі створюємо за допомогою теорії графів. Мережу можна представити як плоский орієнтований граф [34], вершинами якого є перехрестя або умовні центри тяжіння транспортних районів, а ребрами графа є ділянки вулиць та доріг.

Оскільки нас цікавлять лише ті транспортні кореспонденції, маршрути яких проходять транзитом через центр міста, то немає сенсу створювати точну модель транспортної мережі з відображенням у моделі всіх перехресть, ділянок доріг та окремих транспортних районів чи вузлів, оскільки це збільшує складність отримання вихідних даних для подальших розрахунків при побудові моделі мережі, але не впливає значною мірою на точність моделювання. Тож слід створити загальну модель транспортної мережі, виділивши в ній периферійні транспортні райони, основні магістральні вулиці, транспортні кільця (наявні та проєктовані) та центральну частину як елементи моделі. При цьому навколо кожної радіальної магістральної вулиці формується свій узагальнений периферійний транспортний район. Розташування умовних узагальнених центрів транспортного тяжіння кожного периферійного району розраховується за середньозваженими координатами локальних центрів транспортного тяжіння (паркінгів, великих магазинів, громадських закладів, житлових забудов, тощо). Межами укрупнених периферійних районів можуть бути природні перешкоди (річки, паркові зони, тощо) та умовні лінії, які проходять еквідистантно від суміжних радіальних магістральних вулиць [34]. Межею центральної частини міста в даній задачі можна вважати умовну лінію, яка охоплює діловий центр міста, та за якою спостерігаються транспортні проблеми

із паркуванням автомобілів та значне збільшення коефіцієнту завантаженості дороги рухом [40].

На другому етапі визначаємо ємності периферійних транспортних районів та центральної частини міста по відправленню та прибуттю транспортних засобів. Для периферійних районів ємність по відправленню дорівнюватиме інтенсивності транспортних потоків, які виїжджають з району по його основній радіальній магістральній вулиці у напрямку центру міста, а ємність по прибуттю дорівнюватиме інтенсивності транспортних потоків у зворотному напрямку. Для центру міста ємності можна визначити у непрямий спосіб як різницю між сумарною інтенсивністю транспортних потоків, що входять у центр та сумарною інтенсивністю транспортних потоків, що виходять із центру міста. Оскільки інтенсивності транспортних потоків протягом доби змінюються відповідно до ритму людського життя, то вимірювання інтенсивностей та розрахунки транспортних ємностей треба виконувати окремо для вранішнього та вечірнього пікових періодів.

На схемі вулично-дорожньої мережі визначаємо маршрути, якими здійснюються транспортні кореспонденції між всіма периферійними районами та між периферійними районами та центром міста, позначаємо ті кореспонденції, маршрути яких проходять через центр міста. Для розрахунку маршрутів використовуємо теорію графів та алгоритм Дейкстри [41].

Матрицю транспортних кореспонденцій, тобто таблицю значень кореспонденцій між окремими периферійними районами та периферійними районами та центром міста можна розрахувати за допомогою гравітаційної моделі [42], згідно з якою величина кореспонденції залежить від транспортних ємностей пари районів відправлення та прибуття та від функції транспортного тяжіння [43], яка в свою чергу, відображає залежність величини транспортної кореспонденції від відстані між районом відправлення та прибуття, часу на пересування та інших факторів.

На третьому етапі у модель додаються ребра графа, які відповідають майбутнім проєктованим ділянкам транспортного кільця та(або) естакадам. Місця розташування ділянок та їхня довжина визначаються у кожному випадку окремо та з

урахуванням локальних містобудівних та геодезичних особливостей, які обумовлюють можливість побудови цих ділянок. На цьому етапі можна розробити декілька варіантів розташування ділянок.

На четвертому етапі виконується розрахунок нових потенційних маршрутів реалізації транспортних кореспонденцій з урахуванням майбутніх ділянок та розподілення елементів матриці транспортних кореспонденцій по цих маршрутах, і врешті, підрахунок суми кореспонденцій на кожній ділянці транспортного кільця чи естакади. Значення інтенсивності транспортних потоків на майбутніх проєктованих ділянках визначаються як сума транспортних кореспонденцій, маршрути яких проходять через дану ділянку.

Таким чином, задача зменшення транспортного завантаження у центральних частинах міст з радіальним транспортним плануванням може бути вирішена не лише шляхом обмеження в'їзду в центр, але й шляхом відведення транзитних відносно центру транспортних кореспонденцій за допомогою транспортного кільця, розташованого якомога ближче до центру та (або) естакад. А потрібну пропускну спроможність майбутніх ділянок можна розрахувати із використанням теорії графів та гравітаційної моделі для розрахунку матриці транспортних кореспонденцій.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ АВАРІЙНОСТІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СОЦІАЛЬНОГО І ТРАНСПОРТНОГО РИЗИКІВ

У доповіді Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [44] наголошується, що смертність в результаті дорожньо-транспортних випадків (ДТП) продовжує зростати, складаючи 1,35 мільйона випадків смерті в рік. При цьому підкреслюється, що на сьогоднішній день травми в результаті ДТП є основною причиною смерті дітей і молодих людей у віці 5-29 років і трьох провідних причин смерті осіб у віці від 5 до 44 років. Дослідження різних аспектів безпеки дорожнього руху в різних країнах [44, 45] показали, що в світі вже давно і стійко сформувалася глобальна проблема нерівномірності автотранспортної аварійності в світі. В першу чергу чітко простежується зворотна залежність аварійної небезпеки від матеріального добробуту країн. Ризик смерті в результаті ДТП в країнах з низьким рівнем доходу в три рази перевищує аналогічний показник в країнах з високим рівнем доходу. Найвищі показники спостерігаються в Африці (26,6 випадків на 100 000 чоловік), а найнижчі — в Європі (9,3 випадків на 100 000 чоловік).

Для оцінки рівня автотранспортної аварійності можуть використовуватися найрізноманітніші показники. Серед них найбільш часто використовуваними для проведення порівняльних досліджень є два показники: соціальний ризик (Human Risk) і транспортний ризик (Transport Risk).

Показник соціального ризику, запропонований Р. Смідом [46] являє собою залежність відношення кількості загиблих у результаті ДТП до 100 тис. населення країни від рівня автомобілізації. Значення цього показника періодично публікується в звітах Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я (ВООЗ). У даній роботі використані дані, наведені в звіті ВООЗ 2018 р. [44] до наступу пандемії коронавірусу COVID-19, представлені у таблицях 4.1-4.6.

Транспортний ризик являє собою відношення кількості загиблих до 100 тис. зареєстрованих транспортних засобів у країні. Слід зазначити, що методики визначення кількості загиблих в різних країнах і ВООЗ відрізняються. За методикою

ВООЗ загиблими вважаються громадяни, що постраждали в ДТП, які померли протягом 30 діб після аварії. В Україні, наприклад, такими вважаються ті, хто помер на місці ДТП. Тому приведені розрахунки базуються на даних про загиблих в тій чи іншій країні і транспортних засобів в ній, що отримані з доповіді ВООЗ 2018 р. (до наступу пандемії коронавірусу COVID-19) і розраховані за методикою ВООЗ [44]. Дані представлені у таблицях 4.1 - 4.6.

Таблиця 4.1 – Показники аварійності по країнах Європейського регіону

№	Країна	Населення	Кількість транспортних засобів	Кількість автомобілів на 1000 жителів	Кількість загиблих за даними ВООЗ	Кількість загиблих на 100 тис. жителів	Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів
1	Італія	59429936	52581575	679	3333	5,6	0,63
2	Фінляндія	5503132	5217850	612	261	4,7	0,50
3	Іспанія	46347576	32986384	593	1922	4,1	0,58
4	Греція	11183716	9489299	586	1026	9,2	1,08
5	Норвегія	5254694	3969612	584	143	2,7	0,36
6	Австрія	8712137	7421647	578	452	5,2	0,61
7	Франція	64720688	42363000	578	3585	5,5	0,85
8	Німеччина	81914672	56622000	572	3327	4,1	0,59
9	Польща	38224408	27409106	567	3698	9,7	1,35
10	Швейцарія	8401739	5980515	543	223	2,7	0,37
11	Литва	2908249	1391568	560	234	8	1,68
12	Бельгія	11358370	7330718	559	657	5,8	0,90
13	Португалія	10371627	6590094	548	768	7,4	1,17
14	Словаччина	5444218	2606412	546	330	6,1	1,27
15	Словенія	2077862	1468439	537	134	6,4	0,91
16	Кіпр	1170125	650805	532	60	5,1	0,92
17	Нідерланди	16987330	10757655	528	648	3,8	0,60
18	Швеція	9837533	6102914	520	278	2,8	0,46
19	Великобританія	65778572	38388214	519	2019	3,1	0,53
20	Ірландія	4726078	2573961	513	194	4,1	0,75

№	Країна	Населення	Кількість транспортних засобів	Кількість автомобілів на 1000 жителів	Кількість загиблих за даними ВООЗ	Кількість загиблих на 100 тис. жителів	Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів
21	Чехія	10610947	7325787	485	630	5,9	0,86
22	Данія	5711870	3131673	480	227	4	0,72
23	Естонія	1312442	885040	476	80	6,1	0,90
24	Болгарія	7131494	4031748	393	730	10,2	1,81
25	Хорватія	4213265	1996056	380	340	8,1	1,70
26	Білорусь	9480042	4192291	362	841	8,9	2,01
27	Угорщина	9753281	4022798	345	756	7,8	1,88
28	Росія	143964512	54014259	324	25969	18	4,81
29	Латвія	1970530	803628	319	184	9,3	2,29
30	Румунія	19778084	7014661	305	2044	10,3	2,91
31	Сербія	8820083	2282401	291	649	7,4	2,84
32	Боснія і Герцег.	3516016	978229	214	552	15,7	5,64
33	Україна	44438624	14433709	202	6089	13,7	4,22

Таблиця 4.2 – Показники аварійності по країнах регіону Азії і Океанії

№	Країна	Населення	Кількість транспортних засобів	Кількість автомобілів на 1000 жителів	Кількість загиблих за даними ВООЗ	Кількість загиблих на 100 тис. жителів	Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів
1	Нова Зеландія	4660833	3656300	774	364	7,8	1,0
2	Австралія	24125848	18326236	740	1351	5,6	0,7
3	Японія	127748512	81602046	591	5224	4,1	0,6
4	Південна Корея	50791920	25680967	459	4990	9,8	1,9
5	Малайзія	31187264	27613120	361	7374	23,6	2,7
6	Росія	143964512	54014259	324	25969	18	4,8
7	Казахстан	17987736	4383120	250	3158	17,6	7,2
8	Таїланд	68863512	37338139	206	22491	32,7	6,0

Таблиця 4.3 – Показники аварійності по країнах регіону Північної та Центральної Америки і Карибського басейну

№	Країна	Населення	Кількість транспортних засобів	Кількість автомобілів на 1000 жителів	Кількість загиблих за даними ВООЗ	Кількість загиблих на 100 тис. жителів	Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів
1	США	322179616	281312446	910	39888	12,4	1,4
2	Канада	36289824	23923806	662	2118	5,8	0,9
3	Мексика	127540424	40205671	275	16725	13,1	4,2
4	Ямайка	2881355	541316	179	391	13,6	7,2
5	Коста-Ріка	4857274	1991398	287	812	16,7	4,1
6	Панама	4034119	1288573	132	575	14,3	4,5
7	Гондурас	9112867	1694504	95	1525	16,7	9,0
8	Сальвадор	6344722	1008080	94	1411	22,2	14,0
9	Гватемала	16582469	3250194	69	2752	16,6	8,5

Таблиця 4.4 – Показники аварійності по країнах регіону Близького Сходу

№	Країна	Населення	Кількість транспортних засобів	Кількість автомобілів на 1000 жителів	Кількість загиблих за даними ВООЗ	Кількість загиблих на 100 тис. жителів	Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів
1	Катар	2569804	1330487	532	239	9,3	1,8
2	Ліван	6006668	1866407	434	1090	18,1	5,8
3	Саудівська Аравія	32275688	6895794	336	9311	28,8	13,5
4	Об. Араб. Емірати	9269612	3391125	313	1678	18,1	4,9
5	Іран	80277424	30377065	256	16426	20,5	5,4
6	Туреччина	79512424	21090422	253	9782	12,3	4,6
7	Оман	4424762	1370913	215	713	16,1	5,2
8	Йорданія	9455802	1502420	166	2306	24,4	15,3
9	Азербайджан	9725376	1330551	112	845	8,7	6,4
10	Сирія	18430452	2396544	73	4890	26,5	20,4

Таблиця 4.5 – Показники аварійності по країнах Африканського регіону

№	Країна	Населення	Кількість транспортних засобів	Кількість автомобілів на 1000 жителів	Кількість загиблих за даними ВООЗ	Кількість загиблих на 100 тис. жителів	Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів
1	Лівія	6293253	3553497	290	1645	28,1	4,6
2	Сейшельські острови	1262132	507676	176	173	13,7	3,4
3	Ботсвана	2250260	653274	133	535	23,8	8,2
4	Туніс	11403248	2015601	125	2595	22,8	12,9
5	Зімбабве	16150362	1198584	114	5601	34,7	46,7
6	Намібія	2479713	371281	106	754	30,4	20,3
7	Марокко	35276784	3791469	68	6917	19,6	18,2
8	Нігерія	185982632	11733425	61	39802	21,4	33,9

Таблиця 4.6 – Показники аварійності по країнах регіону Південної Америки

№	Країна	Населення	Кількість транспортних засобів	Кількість автомобілів на 1000 жителів	Кількість загиблих за даними ВООЗ	Кількість загиблих на 100 тис. жителів	Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів
1	Аргентина	43847432	21633584	314	6119	14	2,8
2	Бразилія	207652864	93867016	249	41007	19,7	4,4
3	Чилі	17909754	4960945	230	2245	12,5	4,5
4	Уругвай	3444006	2342026	200	460	13,4	2,0
5	Колумбія	48653420	13477996	148	8987	18,5	6,7
6	Венесуела	31568180	7999760	147	10640	18,5	13,3
7	Еквадор	16385068	1925368	109	3490	21,3	18,1
8	Перу	31773841	5604789	73	4286	13,5	7,6
9	Болівія	10887882	1711005	70	1687	15,5	9,9

Професор з Великобританії Р. Смід ще в 1949 р. проаналізував статистику смертності в ДТП по 20 країнам світу, 1930-х років, що мали значний автомобільний парк і запропонував модель, що зв'язує соціальні ризики з рівнем автомобілізації A в

країні [3-5].

Формула Сміда для соціальних ризиків – смертність в ДТП з розрахунку на 100тис. населення

$$RH = \alpha \cdot A^{1/3}, \quad (4.1)$$

де $\alpha = 3$, було розраховано за двадцятьма емпіричними точками.

На рис. 4.1 представлений тренд, побудований по моделі Сміда, реальні значення соціальних ризиків в країнах "Піонерської автомобілізації" та побудовану за цими даними криву. На кінець 30-х років минулого століття кількість автомобілів на 1000 жителів в деяких країнах перевищило 200, значення якого в Україні було досягнуто тільки через 80 років – в 2016 р.

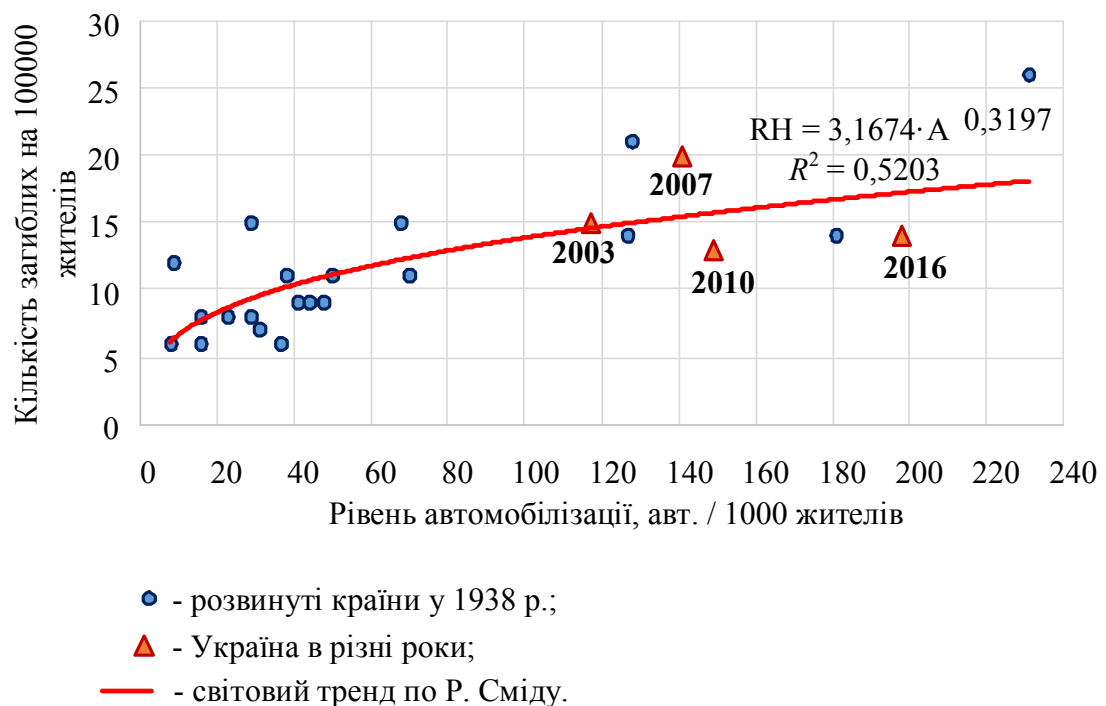


Рисунок 4.1 – Оригінальна крива Р. Сміда для соціальних ризиків

Значення параметра $\alpha = 3$ означає прийняття наступної гіпотези: при високих рівнях автомобілізації соціальні ризики асимптотично наближаються до позначки 30 загиблих на 100 тис. жителів.

В провідних країнах світу дуже серйозно віднесли до прогнозової моделі Сміда і, об'єднавшись навколо загальної проблеми безпеки, почали застосовувати радикальні заходи по зниженню потенційної небезпеки автомобілізації.

До основних з них слід віднести:

- поліпшення підготовки водіїв;
- виховання у учасників дорожнього руху принципів взаємної поваги, відповідальності, доброзичливості, що забезпечує безпечність транспортної поведінки;
- розвиток систем активної, пасивної і післяаварійної безпеки транспортних засобів;
- введення регулярних технічних оглядів автомобілів;
- облік вимог безпеки дорожнього руху в процесі міського планування, стратифікація вулично-дорожньої мережі;
- розвиток інфраструктури інженерного облаштування доріг (знаки, розмітка, огороження, покажчики і т. ін.), орієнтовані на підвищення безпеки руху;
- державний нагляд за дотриманням Правил дорожнього руху з використанням сучасних технічних засобів;
- вдосконалення організації медичної допомоги потерпілим в ДТП і розвиток спеціальних розділів травматології, специфічних для дорожніх аварій.

Реалізація приведених, і низки інших заходів, дозволила не лише стабілізувати, але і значно понизити соціальні ризики при зростаючому рівні автомобілізації.

Дані про кількість загиблих в ДТП на 100 тис. жителів в країнах Європейського регіону, що згруповані по рівню автомобілізації, приведені у табл. 4.1 та на рис. 4.2.

Звертає на себе увагу, що серед Європейських країн, рівень автомобілізації яких перевищує 200 авт./1000 жителів, лише Боснія і Герцеговина та Росія має гірші, ніж Україна, показники соціального ризику.

Соціальні (а надалі і транспортні) ризики в Україні добре узгоджуються з «законом Сміда». Слід відзначити, однак, що він будував свої моделі на основі

статистичних даних тридцятих років минулого віку, даних того часу, коли були відсутні добре відомі в теперішній час і широко використовувані системи активної, пасивної і післяаварійної безпеки автомобілів і доріг, сучасні методи організації дорожнього руху, високотехнологічні засоби бортового зв'язку і контролю режимів руху, інтелектуальні транспортні системи, технології і препарати екстреної медичної допомоги і тому подібне.

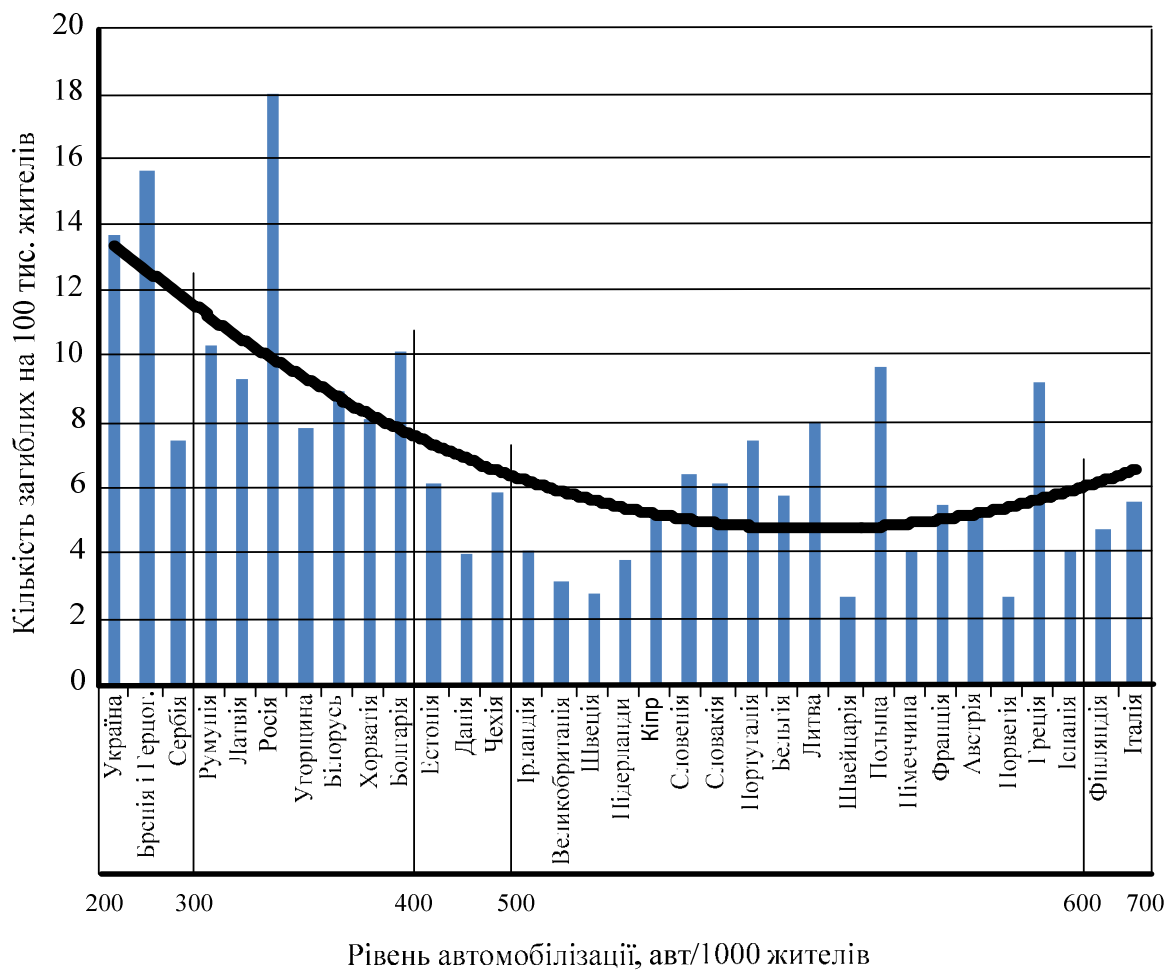


Рисунок 4.2 – Кількість загиблих на 100 тис. жителів в країнах Європейського регіону

Дані про кількість загиблих в ДТП на 100 тис. жителів в країнах регіонів Азії і Океанії, Північної та Центральної Америки і Карибського басейну згрупованих по рівню автомобілізації наведені у табл. 4.2 та 4.3.

Залежність соціальних ризиків RH від рівня автомобілізації A в Європейському

регіоні наведена на рис. 4.3. Аналіз показує, що досить адекватним вибором в якості апроксимуючої моделі в даному випадку є поліноміальна.

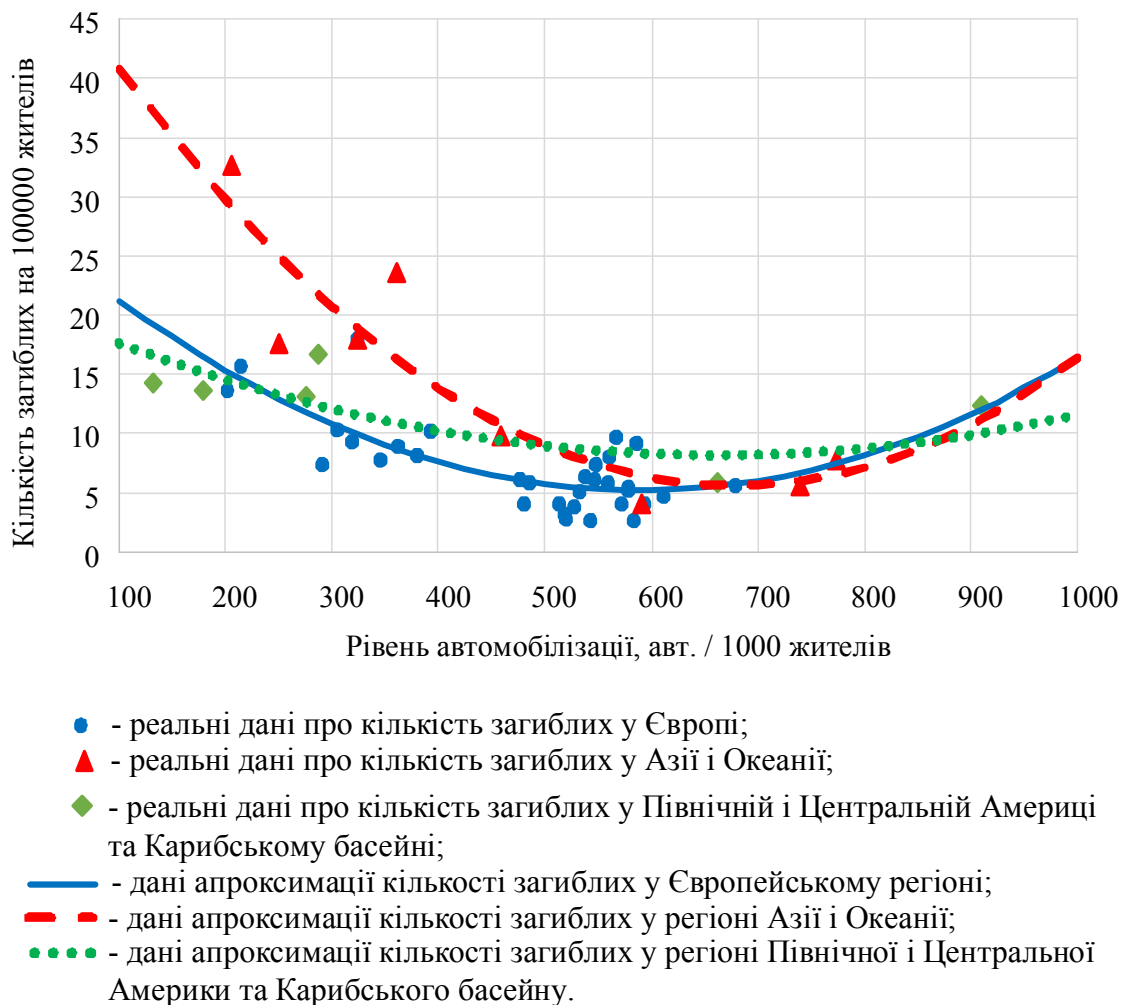


Рисунок 4.3 – Залежність соціальних ризиків від рівня автомобілізації в регіонах світу

Залежність $RH = f(A)$ описується рівнянням

$$RH = 6,6 \cdot 10^{-5} \cdot A^2 - 0,078 \cdot A + 28,33 \quad (4.2)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R = 0,76$ ($R^2 = 0,574$).

Як показує аналіз залежностей $RH = f(A)$ на рис. 4.1 – 4.3, при рівні автомобілізації 200 авт./1000 жителів сучасний стан соціального ризику в країнах

Європейського регіону відповідає моделі Р. Сміда. Але при збільшенні цього показника соціальні ризики знижується. Мінімальні їх значення, як випливає з даних рис. 4.2 та 4.3, спостерігаються при рівні автомобілізації 550 - 650 автомобілів на 1000 жителів. При подальшому її зростанні соціальні ризики збільшуються. Звідси можна зробити висновок, що при сучасному стані транспортної інфраструктури та організації дорожнього руху оптимальним, з точки зору забезпечення безпеки руху, є рівень автомобілізації 550 - 650 автомобілів на 1000 жителів.

Аналогічні залежності соціального ризику спостерігаються в країнах Азії і Океанії, а також країнах Північної та Центральної Америки і Карибського басейну (рис. 4.3).

Залежність соціальних ризиків від рівня автомобілізації для країн Азії і Океанії, рівень автомобілізації яких перевищує 200 авт./1000 жителів, достатньо добре описується поліноміальною моделлю

$$RH = 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot A^2 - 0,1427 \cdot A + 54,11 \quad (4.3)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R = 0,9$ ($R^2 = 0,812$).

Залежність соціальних ризиків від рівня автомобілізації для країн Північної і Центральної Америки та Карибського басейну, описується поліноміальною моделлю

$$RH = 3 \cdot 10^{-5} \cdot A^2 - 0,0397 \cdot A + 21,3 \quad (4.4)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R = 0,78$ ($R^2 = 0,61$).

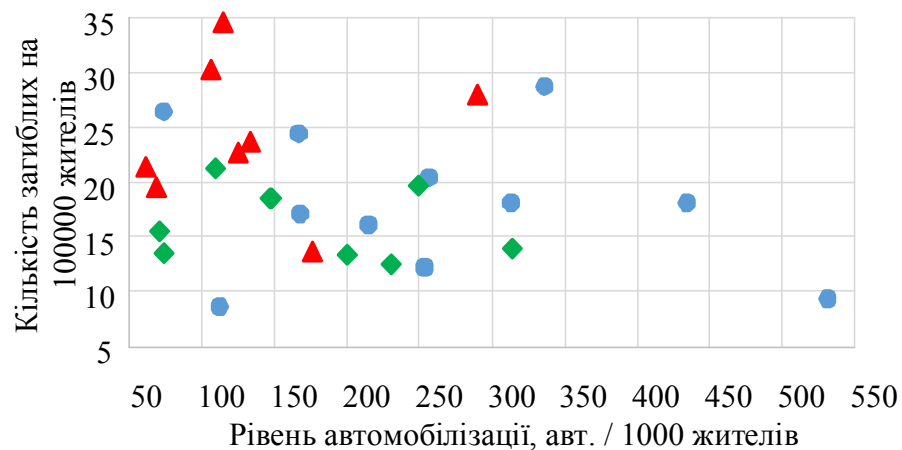
Коефіцієнти кореляції регресії та коефіцієнти детермінації моделей (4.2)-(4.4) показують, що параметри мають достатньо тісний зв'язок.

Оскільки в цьому регіоні лише в чотирьох країнах кількість автомобілів на 1000 жителів перевищує 200, при моделюванні враховувались країни і з меншим рівнем автомобілізації.

Дані про кількість загиблих в ДТП на 100 тис. жителів в країнах регіонів

Близького Сходу, Африки і Південної Америки згрупованих по рівню автомобілізації наведені у таблицях 4.4 - 4.6.

Що стосується регіонів Близького Сходу, Африки і Південної Америки, поле розсіювання соціальних ризиків в них не залежить від рівня автомобілізації (див. рис. 4.4) і моделюванню не підлягає. Кількість загиблих на 100 тис. жителів в країнах цих регіонів вкрай високий і коливається від 10 до 35 осіб.



- - реальні дані про кількість загиблих у регіоні Близького Сходу;
- ▲ - реальні дані про кількість загиблих у Африканському регіоні;
- ◆ - реальні дані про кількість загиблих у регіоні Південної Америки.

Рисунок 4.4 – Розподіл значень соціального ризику країн від рівня автомобілізації

У сучасному світі забезпечення безпеки руху базується на ряді фундаментальних понять, правил і практик, які формуються за словами Джона Адамса [49] в ході «транспортного самонавчання нації». В процес транспортного самонавчання нації, за його словами, залучені громадяни, громадські організації, органи влади, бізнес-структури, експертне співтовариство, словом всі особи і інститути, що зіштовхуються з реальними проблемами пристосування суспільства до появи на дорогах і вулицях величезної маси автомобілів [48, 49]. Саме цим процесом адаптації колективного транспортного поведінки нації до зростаючої автомобілізації пояснюється кардинальна відмінність існуючої залежності соціальних ризиків від рівня автомобілізації від закону Р. Сміда.

В регіонах світу, де відстежується залежність соціальних ризиків від рівня автомобілізації спостерігаються мінімальні соціальні ризики при значеннях автомобілізації 600 - 700 автомобілів на 1000 жителів (див. рис. 4.3). Це підтверджує попередній висновок про наявність оптимального рівня автомобілізації, при якому сучасний рівень організації дорожнього руху може забезпечити найменші соціальні ризики.

До найбільш поширених належить також показник транспортних ризиків RT , що визначається по числу загиблих з розрахунку на 10 тис. автомобілів.

Одночасно з розробкою моделі соціального ризику професор Р. Смід запропонував просту, але як показав подальший досвід, надзвичайно вдалу модель, що зв'язує транспортні ризики з рівнем автомобілізації в країні. Він дійшов висновку, що смертність в ДТП з розрахунку на одиницю парку автомобілів убуває у міру зростання автомобілізації населення гіперболічно.

Формула Сміда для транспортних ризиків має наступний вигляд

$$RT = \alpha \cdot A^{-2/3} \quad (4.5)$$

де α – розмірна константа, пов'язана з вибором конкретної бази показника транспортних ризиків,

A – кількість автомобілів на 1000 жителів.

На рис. 4.5 приведена оригінальна залежність Сміда відносно транспортних ризиків, реальні їх значення в країнах світу у 1938 р. і значення цього показника для України в 2008, 2011 і 2016 рр., який в цілому укладається в тренд, визначений Смідом, проте для України значно вище, ніж в більшості провідних автомобільних країн світу в теперішній час.

Дані для аналізу аварійності за показником транспортного ризику представлені у табл. 4.1 - 4.6.

На рис. 4.6 наведені дані про кількість загиблих в ДТП на 10 тис. автомобілів в країнах Європейського регіону, згрупованих по рівню автомобілізації.

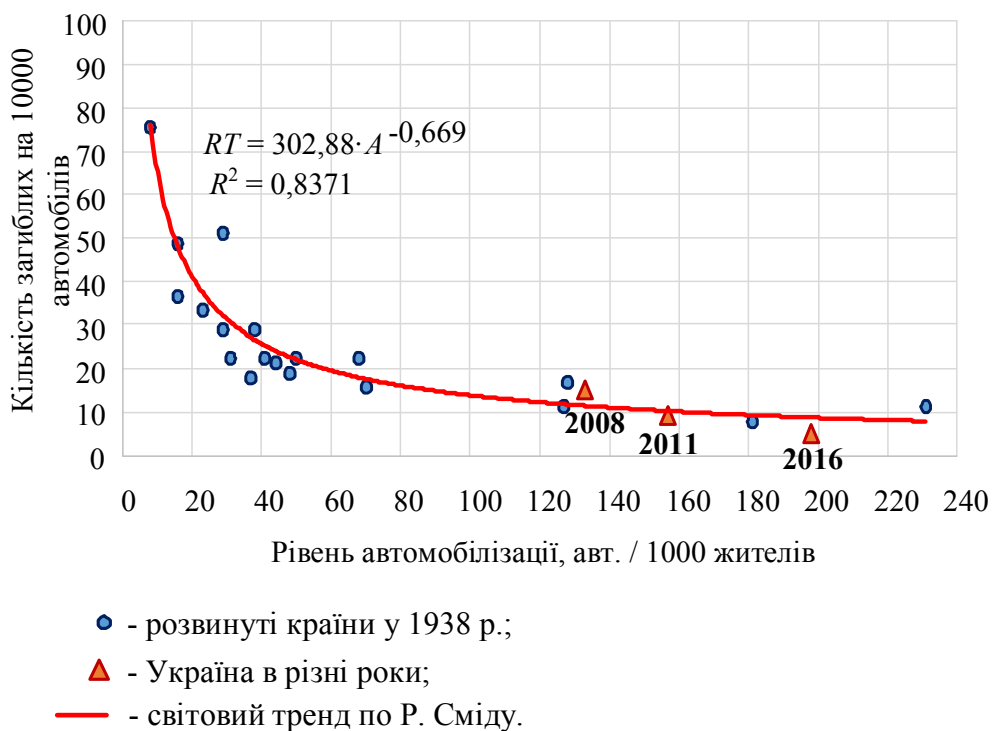


Рисунок 4.5 – Оригінальна крива Р. Сміда для транспортних ризиків

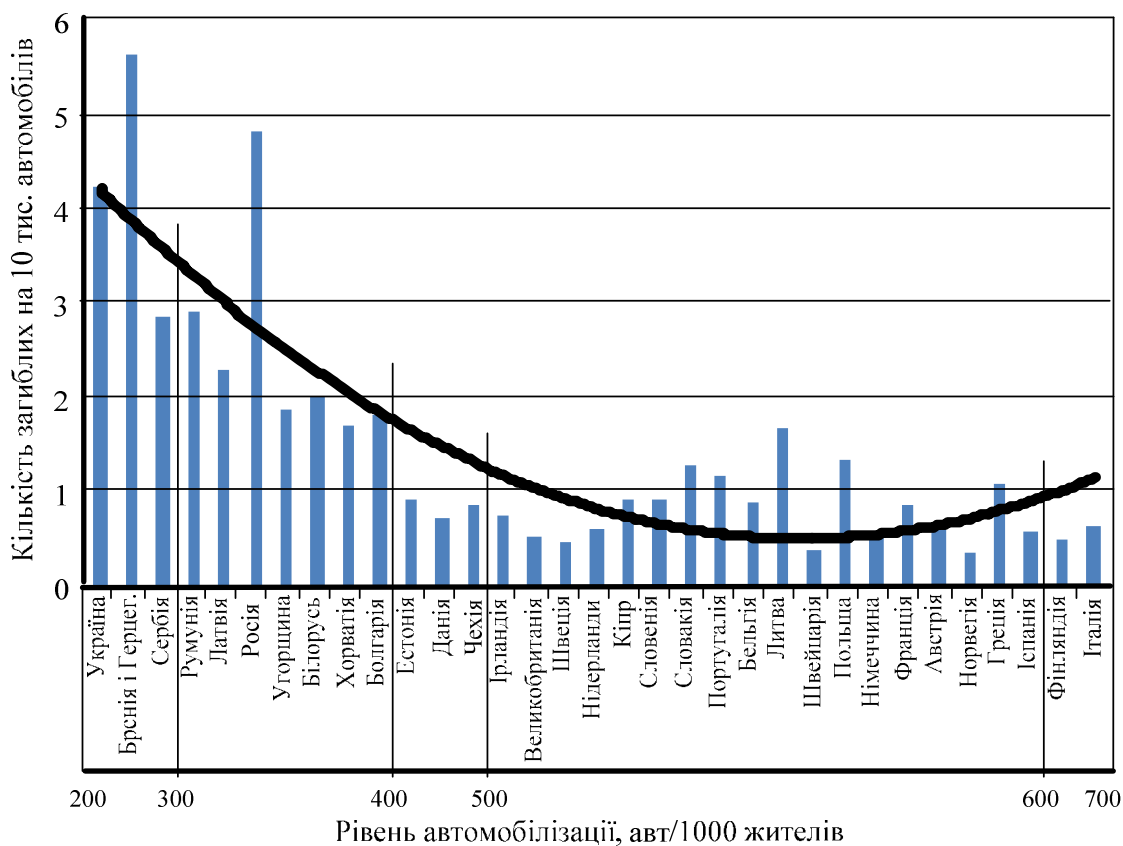


Рисунок 4.6 – Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів в країнах Європейського регіону

Аналіз показує, що достатньо адекватним вибором в якості апроксимуючої моделі в даному випадку є поліноміальна. Залежність $RT=f(A)$ описується рівнянням

$$RT = 2,84 \cdot 10^{-5} \cdot A^2 - 0,0336 \cdot A + 10,63 \quad (4.6)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R = 0,908$ ($R^2=0,824$).

Аналогічні залежності транспортного ризику спостерігаються в країнах Азії і Океанії, а також країнах Північної та Центральної Америки і Карибського басейну.

Залежність транспортних ризиків від рівня автомобілізації для країн Азії і Океанії, рівень автомобілізації яких перевищує 200 авт./1000 жителів, достатньо добре описується поліноміальною моделлю

$$RT = 2,98 \cdot 10^{-5} \cdot A^2 - 0,0401 \cdot A + 14,06 \quad (4.7)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R = 0,958$ ($R^2 = 0,917$).

Залежність транспортних ризиків від рівня автомобілізації для країн Північної і Центральної Америки та Карибського басейну, описується поліноміальною моделлю

$$RT = 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot A^2 - 0,036 \cdot A + 12,33 \quad (4.8)$$

з рівнем тісноти статистичного зв'язку $R = 0,845$ ($R^2 = 0,714$).

Коефіцієнти кореляції регресії та коефіцієнти детермінації моделей (4.6)-(4.8) показують, що параметри мають достатньо тісний зв'язок.

Залежності транспортних ризиків від рівня автомобілізації для країн Європи, Азії і Океанії, Північної та Центральної Америки і Карибського басейну представлені на рис. 4.7.

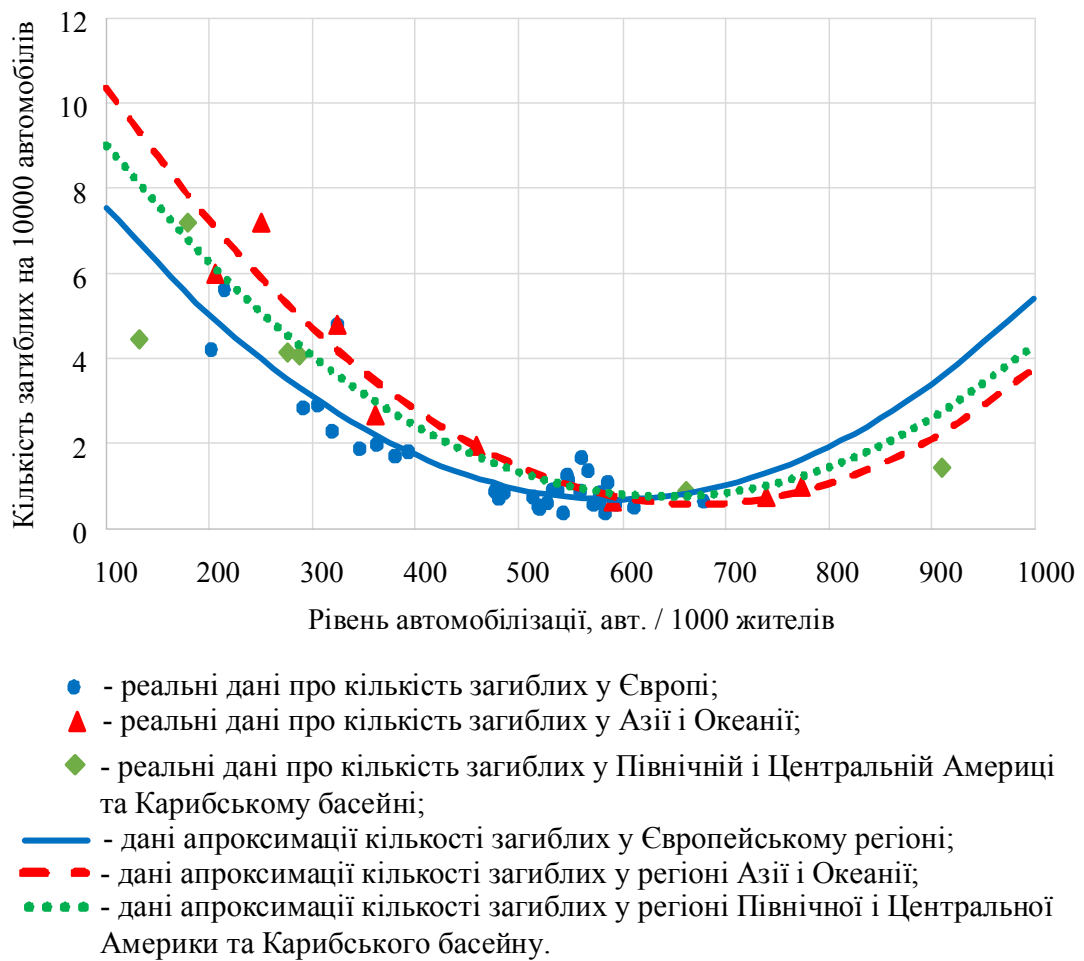
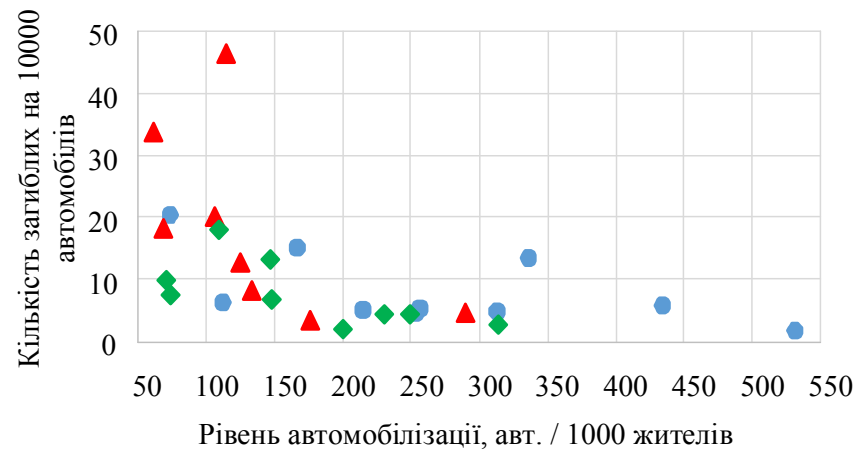


Рисунок 4.7 – Залежність транспортних ризиків від рівня автомобілізації в регіонах світу

Як і в разі аналізу соціальних ризиків, в регіонах Близького Сходу, Африки і Південної Америки, поле розсіювання транспортних ризиків (див. рис. 4.8) в них край великий, тіснота статистичного зв'язку з рівнем автомобілізації дуже мала і математичному моделюванню не підлягає. Кількість загиблих на 10 тис. автомобілів в країнах цих регіонів вкрай високий і коливається від 18 осіб в Еквадорі (Південна Америка) до 45 осіб в Зімбабве (Африка). Втім, і в цих регіонах слід відзначити зменшення транспортних ризиків при збільшенні рівня автомобілізації.



- - реальні дані про кількість загиблих у регіоні Близького Сходу;
- ▲ - реальні дані про кількість загиблих у Африканському регіоні;
- ◆ - реальні дані про кількість загиблих у регіоні Південної Америки.

Рисунок 4.8 – Розподіл значень транспортного ризику країн від рівня автомобілізації

В регіонах світу, де відстежується залежність транспортних ризиків від рівня автомобілізації спостерігаються, як і в разі соціальних ризиків, мінімальні ризики, але при значеннях автомобілізації 550 - 700 автомобілів на 1000 жителів (див. рис. 4.7).

Таким чином, при сучасному рівні організації дорожнього руху максимальне забезпечення безпеки її учасників спостерігається при рівні автомобілізації 550 - 700 автомобілів на 1000 жителів.

В якості оціночних критеріїв аварійності в країнах світу найбільше розповсюдження отримали показники соціального ризику (кількість загиблих на 100 тис. жителів) і транспортні ризики (кількість загиблих на 10 тис. автомобілів).

В країнах з розвиненою транспортною інфраструктурою, належною медичною допомогою і доброзичливою, безпечною поведінкою учасників дорожнього руху як соціальні, так і транспортні ризики зі збільшенням рівня автомобілізації зменшуються до певного його значення, а потім починають зростати.

При сучасному рівні організації дорожнього руху і забезпечення його безпеки мінімальні соціальні ризики мають місце при рівні автомобілізації 600 - 700 автомобілів на 1000 жителів, транспортні ризики – при 550 - 700.

5 ПОЧАТОК ДИНАМІКИ ТРАФІКУ

Для вирішення різних прикладних завдань, що виникають при розрахунку пропускної спроможності міських вулиць і доріг, особливо з урахуванням різних методів і засобів організації руху з метою забезпечення вимог безпеки, необхідно насамперед скласти рівняння руху транспортного потоку (трафіку), що описують його динаміку на різних за геометричними накресленнями елементах магістралей.

Розробкою теорії транспортного потоку займалися і займаються багато фахівців різних країн [50, 54-60]. Проте все зводилося до моделювання взаємозв'язку між інтенсивністю і швидкістю або до розподілу інтервалів між автомобілями, що явно є не повним розкриттям динаміки трафіку. Не враховувалася одна особливість автомобіля, що він одночасно є і джерелом трафіку і джерелом його швидкості, тобто дуальність автомобіля.

У дослідженнях основних характеристик транспортного потоку [51-53], для складання рівнянь динаміки трафіку є всі необхідні дані та передумови. Тому скористаємось аналогіями між енергією і ексергією, між дорожнім потенціалом і кінетичною енергією, між транспортним потенціалом і потенційною енергією. Залучимо рівняння другого роду станів безперервних систем Лагранжа [53-61], а також значення ексергії, дорожнього і транспортного потенціалів, опорів руху під впливом щільності.

З урахуванням вище сказаного і рекомендацій в [61] складемо загальне рівняння динаміки трафіку

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial E_{\partial}}{\partial V} - \frac{\partial E_{\partial}}{\partial x} + \frac{\partial E_T}{\partial x} - \frac{\partial E(R)}{\partial t} = \frac{dE}{dt}, \quad (5.1)$$

та загальне рівняння зміни кількості автомобілів в трафіку

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial E_{\partial}}{\partial \dot{\lambda}} - \frac{\partial E_{\partial}}{\partial \lambda} + \frac{\partial E_T}{\partial \lambda} - \frac{\partial E(R)}{\partial \lambda} = \frac{dE}{dt}, \quad (5.2)$$

після перетворення якого отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial}{\partial \dot{x}} \int J dx - \frac{\partial}{\partial x} \int J dx - \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{1}{C} dx + \frac{d}{dt} \int Q dx = \\ = \frac{d}{dt} \int N dt, \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial}{\partial \dot{\lambda}} \int C d\lambda + \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{1}{J} d\lambda + \frac{d}{dt} \int \frac{1}{Q} d\lambda \int V dt, \quad (5.4)$$

де ∂E_{∂} – дорожній потенціал, авт./год;

∂E_T – транспортний потенціал, авт./год;

dE – ексергія або зовнішня працездатність системи «дорога – трафік», авт./год;

V – швидкість трафіку, км/год.;

x – ділянка шляху, км;

t – елементарний час, год;

R – опір руху, авт./год;

Q – щільність потоку, авт./км

N – інтенсивність трафіку, авт./год;

C – напруженість руху при стисненні трафіку до його зупинки, авт./год;

λ – кількість трафіку (автомобіль, група тощо), авт./год;

J – інерційність у трафіку або повільна зміна швидкості, авт./год.

Взявши окремі похідні в рівняннях (5.3) і (5.4), знайдемо

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial \dot{x}} \int J dx &= JV; & \frac{\partial}{\partial \dot{x}} \int J d\dot{x} &= 0; \\
\frac{\partial}{\partial x} \int \frac{1}{C} dx &= \frac{x}{C}; & \int Q dx &= Qx; \\
\frac{\partial}{\partial \dot{\lambda}} \int C d\dot{\lambda} &= CN; & \frac{\partial}{\partial \dot{\lambda}} \int C d\dot{\lambda} &= 0; \\
\frac{\partial}{\partial \lambda} \int \frac{1}{J} d\lambda &= \frac{\lambda}{J}; & \int \frac{1}{Q} d\lambda &= \frac{\lambda}{Q}.
\end{aligned}
\tag{5.5}$$

Врахування отриманих знань в (5.5) і знання динаміки транспортного потоку на перегоні, перед перехрестям і після проходження «стоп-лінії», а також положення автомобіля і дія на нього інших автомобілів дозволяють отримати ряд рівнянь стану або описати динаміку трафіку, які зібрані і систематизовані (див. табл. 5.1).

Описано три найбільш характерні стани руху автомобілів (тобто динаміка) в потоці в залежності від їх положення: на початку потоку, в потоці і в кінці потоку (групи). Крім того, розглянуті три випадки зміни стану кількості трафіку в залежності від початку відліку: відлік з першого автомобіля, коли на нього не впливає швидкість потоку; відлік починається в довільний момент часу від довільного автомобіля; спостереження стану останніх автомобілів у потоці, коли впливає швидкість передуючого потоку, і потужність системи «дорога - трафік» вичерпалася.

Таблиця 5.1 – Рівняння динаміки автомобілів в транспортному потоці і зміни їх кількості в трафіку

№ з/п	Рівняння	
	Зміна кількості потоку	Рух трафіку
1	2	3
1. Загальне рівняння		
1.1	$C \frac{d^2 \lambda}{dt^2} + \frac{1}{Q} \cdot \frac{d\lambda}{dt} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{d^2 x}{dt^2} + Q \frac{dx}{dt} + \frac{x}{C} = N(t)$

№ з/п	Рівняння	
	Зміна кількості потоку	Рух трафіку
1.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{N}{Q} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{dV}{dt} + QN + \frac{x}{C} = N(t)$
2. На початку потоку		
2.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} = V(t)$	$J \frac{d^2x}{dt^2} = N(t)$
2.2	$C \frac{dN}{dt} = V(t)$	$J \frac{dV}{dt} = N(t)$
3. В потоці		
3.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{x}{C} = N(t)$
3.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{dV}{dt} + \frac{x}{C} = N(t)$
4. В кінці нещільного потоку		
4.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{x}{C} = 0$
4.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{dV}{dt} + \frac{x}{C} = 0$
5. В кінці щільного потоку		
5.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{1}{Q} \cdot \frac{d\lambda}{dt} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{d^2x}{dt^2} + Q \frac{dx}{dt} + \frac{x}{C} = 0$
5.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{N}{Q} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{dV}{dt} + QN + \frac{x}{C} = 0$

Всі наведені диференціальні рівняння (5.1-5.5), табл. 5.1 описують коливання дистанції між автомобілями близько оптимального значення в перерізі перегону. Рівняння (5.1-5.3) цієї ж таблиці показують, що коливання відбуваються під впливом збурювальної (рух трафіку потоку) сили (інтенсивності або швидкості).

Рівняння (5.4-5.5) описують зміни в трафіку дистанції і кількості автомобілів в групі близько стійкого положення під впливом транспортного потенціалу E_T через близькість автомобілів на просторово-координатній осі.

Аналіз загального виду рівнянь, табл. 5.1, дозволяє зробити висновок, що рух транспортного потоку відповідно у часі і просторі описуються за допомогою кінцевого числа взаємопов'язаних алгебраїчних або звичайних диференціальних рівнянь, тому для опису системи «дорога-трафік» в будь-який момент часу (t_i) використовуємо єдину математичну характеристику – змінну стану.

В результаті цього динаміка трафіку представлена в табл. 5.1 відповідною сукупністю диференціальних рівнянь (1.2), (2.2), (3.2), (4.2), (5.2) першого порядку, вирішення яких, як відомо, набагато простіше рівнянь другого порядку.

Для вирішення рівнянь руху, табл. 5.1, необхідно знання рівняння функціональних станів. Цей стан можна визначити із законів збереження в перерізі, на перехресті і на замкнутому маршруті руху [52].

Наведені рівняння описують зміну стану і динаміку трафіку через перетин проїжджої частини (повз спостерігача) вулиці або дороги у часі, так як положення спостерігача не змінюється.

Для опису руху транспортного потоку в просторі смуга проїжджої частини вулиці або дороги представляється сумою нескінченного числа послідовно з'єднаних елементарних ділянок довжиною dx , позначивши як x відстань від початку відліку (нульового пікету). При цьому враховується, що Qdx , Jdx , Cdx — розподілені на елементарній ділянці відповідно щільність, інерційність і напруженість, а $N(t, x)$ та $V(t, x)$ — відповідно швидкість та інтенсивність на цій ділянці з абсцисою x в момент часу t . Повна довжина вулиці або дороги — L . Тепер очевидно, що $V(t, 0) = V_0(t)$, $N(t, x) = N_L(t)$, тобто інтенсивність, як і швидкість, розподілена в просторі вулиць, L , авт./км. год. Це вже питома інтенсивність. Кількість автомобілів, що надійшли на елементарну ділянку dx за час dt

$$[N(t, x) - N(t, x + dx)] dt = -\frac{\partial N_L}{\partial x} dx dt, \quad (5.6)$$

дорівнює зменшенню дорожнього потенціалу або інерційності транспортного потоку за час dt

$$J[V(t + dt, x) - V(t, x) dx] dx = J \frac{\partial V}{\partial t} dt dx. \quad (5.7)$$

Але так як сума дорожнього і транспортного потенціалів для ділянки повинна бути постійною, то порівняння (5.4) і (5.5) дає

$$\frac{\partial N_L}{\partial x} + J \frac{\partial V}{\partial t} = 0,$$

Це є рівняння нерозривності трафіку при русі на дорозі одиничної довжини $\mathcal{L}$ (1 км)

$$\mathcal{L} \frac{\partial N}{\partial x} + J \frac{\partial V}{\partial t} = 0. \quad (5.8)$$

У свою чергу, швидкість автомобілів потоку залежить від щільності потоку і напруженості руху, тому зміна швидкості на ділянці dx запишемо з умови її нерозривності як

$$-(\mathcal{L}) \frac{\partial V}{\partial x} dx = \frac{1}{Q} N dx + \frac{\partial N}{\partial t} C dx. \quad (5.9)$$

Тепер динаміка трафіку на смузі проїзної частини опишеться системою рівнянь

$$\begin{cases} E \frac{\partial N}{\partial x} + J \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \\ E \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{Q} N = 0. \end{cases} \quad (5.10)$$

Для повноти картини руху необхідно врахувати трансформацію (стиснення) трафіку за рахунок зменшення динамічного габариту за час dt , тобто $QVdxdt$, що зазначену систему призведе до виду

$$\begin{cases} E \frac{\partial N}{\partial x} + J \frac{\partial V}{\partial t} + QV = 0 \\ E \frac{\partial V}{\partial x} + C \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{N}{Q} = 0. \end{cases} \quad (5.11)$$

Система (5.11) дає математичний опис динаміки транспортного потоку на смузі вулиці або дороги без урахування початкових значень швидкості і щільності, які характеризують якість дороги для вільного руху. Такий опис є повним. Тому додатково врахуємо вхідні величини, що визначають граничні умови.

$$\begin{cases} V(t, 0) = V_a(t) \\ V(t, L) = -\frac{N_L(t)}{Q_\phi}. \end{cases} \quad (5.12)$$

6 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОНТУРНОГО УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

Процес ефективного управління дорожнім рухом у дійсний час є актуальним. Тому що вирішує завдання не тільки підвищення безпеки дорожнього руху, та і забезпечує функціонування транспортної мережі міста в цілому [62, 63]. З урахуванням властивостей транспортної мережі міста та принципу обробки інформації існує декілька взаємопов'язаних типів управління: за напрямком руху на елементах вуличної мережі міста; в межах окремого перехрестя; на сукупності перехресть, які поєднані міською магістраллю. Основний обсяг транспортної роботи у містах здійснюється на головних магістралях, які утворюють контури на мережі вулиць і доріг. Тому вирішення задачі управління дорожнім рухом на контурі магістралей є актуальним і своєчасним. Високий рівень обслуговування транспортних потоків на магістралях забезпечується за рахунок рівномірної швидкості руху, зменшення кількості зупинок, часу транспортної затримки та підвищення екологічної безпеки міст у цілому [64].

При дослідженні задачу контурного управління транспортними потоками було формалізовано наступним чином. З математичної точки зору модель узгодженого програмного контурного управління в аналітичному вигляді представлено відношенням

$$A = f(t, x, R), \quad (6.1)$$

де A – програма координації;

t – час доби, год;

x – функція початкових характеристик транспортного потоку і умов руху;

R – функціонал характеристик управляючих впливів системи світлофорних об'єктів на магістралі.

Функція характеристики транспортного потоку і умов руху має вигляд

$$x = f(N_{ij}, V, B_{\text{пч}}, t), \quad (6.2)$$

де N_{ij} – інтенсивність руху транспортного потоку у j -му напрямку на i -му перехресті магістралі (авт./год);

V – рекомендована швидкість транспортного потоку на магістралі (км/год);

$B_{\text{пч}}$ – ширина проїзної частини магістралі (перехрестя і перегону) (м).

Затримку транспортних засобів на перехрестях магістралі в загальному вигляді (μ) було визначено функціоналом:

$$\mu = \sum_{i=1}^h y^i(x, R), \quad (6.3)$$

де h – кількість регульованих перехресть магістралі;

y^i – функція, що визначає затримку транспортних засобів на i -му перехресті магістралі.

Задачу зниження затримок транспортних засобів на контурі магістралей запропоновано вирішити за допомогою методів оптимізації [65].

Тоді цільова функція визначена із співвідношення (3) і має наступний вигляд

$$\sum_{i=1}^h y^i(x, R) \rightarrow \min_{x, R \in \Omega}, \quad (6.4)$$

де Ω – площина допустимих значень параметрів оптимізації.

Граничні умови, що визначають Ω , поширюються на функції, які характеризують параметри транспортного потоку, умови руху і режими функціонування технічних засобів регулювання дорожнього руху. А багатовимірний вектор параметрів координації управління має вигляд

$$\bar{R} = \left\{ N_{ij}, \bar{t}_0^i, \bar{t}_n^i, \bar{t}_k^i, t_{\text{ц}}^i, Z^i, \varphi^i, V, B_{\text{пч}} \right\}. \quad (6.5)$$

де $\bar{t}_0^i(\bar{x}_1^i)$ – час основних тактів i -го світлофорного об'єкта;

$\bar{t}_n^i(\bar{x}_2^i)$ – час проміжних тактів i -го світлофорного об'єкта;

$\bar{t}_k^i(\bar{x}_3^i)$ – тривалість фаз управління i -го світлофорного об'єкта;

$\bar{t}_{\text{ц}}^i(\bar{x}_4^i)$ – час циклу світлофорного регулювання i -го світлофорного об'єкта;

$Z^i(t)$ – послідовність фаз у циклі світлофорного регулювання i -го світлофорного об'єкта у момент часу t ;

$\varphi^i(\bar{x}_5^i)$ – зсув включення фаз світлофорного регулювання i -го світлофорного об'єкта;

V – швидкість транспортного потоку;

$B_{\text{пч}}$ – ширина проїзної частини.

Сформовані граничні умови задачі оптимізації при двосторонній обмеженості параметрів мають вигляд

$$\Omega: \bar{R}^+ \leq \bar{R} \leq \bar{R}^{++}. \quad (6.6)$$

Граничні умови параметрів оптимізації було отримано шляхом розрахунку параметрів транспортного потоку. При цьому розмірність даної задачі складає $h \times l$ (h – кількість регульованих перехресть магістралі, l – розмірність вектора $\bar{R}$).

Для вирішення завдання координації роботи світлофорних пристроїв при вирівнюванні швидкості руху транспортних засобів на магістралях контуру ВДМ було розроблено імітаційну модель визначення параметрів рівномірного руху АТЗ.

Вхідні параметри моделювання обираються на підставі отриманих результатів побудови геоінформаційної моделі контуру магістралей міста [66]. n – кількість перехресть; m – кількість перегонів; X_k, Y_k – координати k -го перехрестя на площині, $k=1, \dots, n$; L_{EWk}, L_{NSk} – лінійні розміри перехрестя по горизонталі (зі сходу на захід) і

вертикалі (з півночі на південь); N – інтенсивність транспортних потоків на підходах до перехрестя; C_{Hj} , C_{Kj} – індекс початку та закінчення j -го перегону, $j=1...n$; α – коефіцієнт кривизни перегону; l_{CH-CK} , l_{CK-CH} – кількість смуг руху на перегоні в обох напрямках; $V_{b\ CH-CK}$, $V_{b\ CK-CH}$ – базові швидкості руху транспортних засобів на перегоні.

В процесі моделювання проводиться розрахунок коефіцієнта насичення у напрямку на підході до перехрестя (M_k), значення якого залежить від геометричних параметрів перехрестя і перегону (y_k) та має вигляд:

$$M_k = \begin{cases} 0, r_i = 0 \\ \sum_{j=1}^4 N_{kij} \cdot \left(1 + \frac{6}{L_{EWk} + L_{NSk}}\right) \cdot \frac{1}{1800}, \\ r_i \neq 0 \wedge l(k,i) = 1 \\ \sum_{j=1}^4 N_{kij} \cdot \left(1 + \frac{6}{L_{EWk} + L_{NSk}}\right) \cdot \frac{1}{3000}, \\ r_i \neq 0 \wedge l(k,i) = 2 \end{cases}, \quad (6.7)$$

де $l(k,i)$ – допоміжна функція, значення якої дорівнює кількості смуг з боку i -го в'їзду до k -го перехрестя;

r_i – ознака наявності смуг з боку i -го в'їзду на перехрестя.

Поточний або мінімально необхідний час світлофорного циклу на ділянці мережі в локальному режимі визначаємо на підставі значення суми проміжних тактів і максимальних значень коефіцієнта насичення напрямків по фазах

$$T_{\min} = \frac{1,5T_{\Pi} + 5}{1 - y_{13} - y_{24}} \leq 120, \quad (6.8)$$

де T_{Π} – сума проміжних тактів;

$y_{13} = \max(y_1; y_3)$ – максимальне значення коефіцієнта насичення в напрямку схід-захід (за геоінформаційною моделлю ВДМ);

$y_{24} = \max(y_2; y_4)$ – максимальне значення коефіцієнта насичення в напрямку північ-південь.

На наступному етапі було розраховано основні такти світлофорного регулювання. Розрахунок циклу світлофорного регулювання проводили для двофазного режиму функціонування

$$T_{\min 13} = (T_{\min} - 2T_{\pi}) \frac{y_{13}}{y_{13} + y_{24}}, \quad (6.9)$$

$$T_{\min 24} = (T_{\min} - 2T_{\pi}) \frac{y_{24}}{y_{13} + y_{24}}. \quad (6.10)$$

Період регулювання руху по контуру мережі обрано, як максимальний цикл світлофорного регулювання на контурі ВДМ - $T_{\max} = \max(T_k)$.

Для реалізації контурного управління потрібно визначити швидкість руху транспортних засобів на кожному перегоні магістралі, виходячи з розрахункового часу проїзду перегону

$$V = \frac{3,6L}{\Delta t + zT_{\max}}, \quad (6.11)$$

де Δt – час руху по перегону;

z – ціле число.

Визначений баланс часу світлофорного регулювання на магістралях відповідає різниці між значеннями максимального циклу світлофорного регулювання по мережі і циклом регулювання в локальному режимі на певному перехресті (T_i)

$$B_{ki} = T_{\max} - T_{\min i}. \quad (6.12)$$

Тоді до керуючих параметрів руху контурного управління належать: O_k – зсув часу включення світлофорного об’єкту на k -м перехресті (с); B_k – баланс часу між командним циклом світлофорного регулювання та світлофорним циклом на k -м перехресті; V_{CH-CK} , V_{CK-CH} – швидкості руху транспортних засобів на даному перегоні, для забезпечення безупинного проїзду (км/год).

Для визначення часу руху по перегону Δt_{CH-CK} за умовою пропорційності часу прибуття АТЗ на перехрестя контуру магістралей отримали залежність

$$\Delta t_{CH-CK} = t_{CK} - t_{CH} + zT_{\max} . \quad (6.13)$$

Тоді швидкість руху визначили відношенням

$$V_{CH-CK} = \frac{3,6L_{CH-CK}}{\Delta t_{CH-CK} + zT_{\max}} . \quad (6.14)$$

Для реалізації задачі контурного управління розроблено комп’ютерну модель визначення керуючих параметрів процесу руху транспортних потоків на контурі магістралей [67].

Для системи управління ДР такий підхід було реалізовано методами багатопараметричної оптимізації у розробленому програмному середовищі, етапи якого наведено на рис. 6.1 [68].

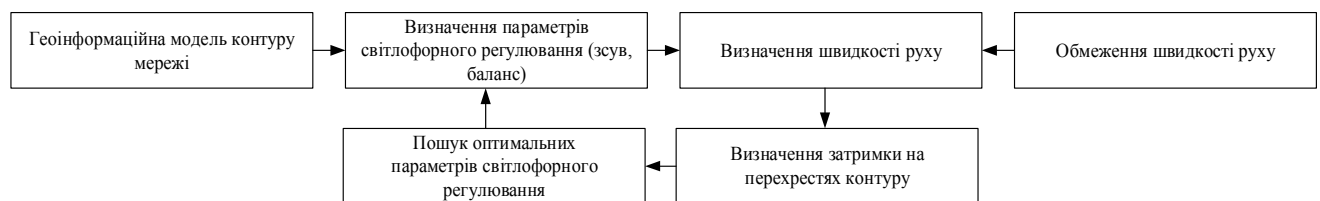


Рисунок 6.1 – Етапи визначення параметрів контурного управління

Для отримання параметрів світлофорного регулювання рівномірного руху на мережі було вирішено завдання оптимізації з обмеженнями. Цільова функція

визначена як сума квадратів відхилень реальної швидкості на суміжних перегонах. Тоді область обмеження параметрів оптимізації визначає допустимий інтервал зміни параметрів в множині значень кожного з параметрів, а критерій оптимізації має вигляд

$$\sum_{j=1}^m (D_j - F_j)^2 \rightarrow 0, \quad (6.15)$$

$$D_j = \begin{pmatrix} a_1 \cdot V_{C_H - C_K}^j \\ a_2 \cdot V_{C_K - C_H}^j \\ a_3 \cdot V_{C_H - C_K}^j \\ a_3 \cdot V_{C_K - C_H}^j \end{pmatrix}, \quad (6.16)$$

$$F_j = \begin{pmatrix} a_1 \cdot V_{b, C_H - C_K}^j \\ a_2 \cdot V_{b, C_K - C_H}^j \\ a_3 \cdot V_{C_H - C_K}^{j-1} \\ a_3 \cdot V_{C_K - C_H}^{j-1} \end{pmatrix}, \quad (6.17)$$

де $V_{C_K - C_H}^j$ – швидкість у відповідному напрямку на j -му перегоні, $j = 1, \dots, m$;

$V_{b, C_K - C_H}^j$ – розрахована швидкість, що вимагається у відповідному напрямку на j -му перегоні, $j = 1, \dots, m$;

m – кількість перегонів на досліджуваній мережі магістралей міста;

a_1 – ознака наявності умови вирівнювання розрахункової швидкості в напрямку $C_H - C_K$;

a_2 – ознака наявності умови вирівнювання розрахункової швидкості в напрямку $C_K - C_H$;

a_3 – ознака наявності умови вирівнювання швидкості на суміжних перегонах.

Розмірність задачі оптимізації (Z) залежить від кількості перехресть на мережі магістралей, що мають цикл світлофорного регулювання менш ніж максимальний (n), який обирається однаковим для усіх перехресть мережі магістралей:

$$Z = 2n - k_{\max} , \quad (6.18)$$

де $k_{\max}$ – кількість перехресть з розрахунковим часом циклу, що дорівнює максимальному.

При формалізації задачі оптимізації та визначенні цільової функції було застосовано параметр координації – баланс циклу світлофорного регулювання (6.12). Тоді до керуючих параметрів рухом на контурі магістралей додаються: O_k – зсув часу включення світлофорного об'єкту на k -м перехресті; B_k – баланс циклу на k -м перехресті.

Обраний метод оптимізації вимагає нормування параметрів оптимізації в інтервалі $[0; 1]$. Визначення оптимальних параметрів зсуву (O_k) фаз світлофорного регулювання на перехрестях і балансу циклів світлофорного регулювання проводили на підставі наступних співвідношень

$$O_k = H_{0,x} \cdot T_{\max} , \quad (6.19)$$

$$B_k = H_{0,x+1} , \quad (6.20)$$

де $H_{0,x}$ – елементи матриці гіперпросторових точок на поточному етапі моделювання.

Для вирішення завдання оптимізації було обрано метод Нелдера-Міда, який відноситься до пошукових методів оптимізації. Особливість методу Нелдера-Міда полягає у використанні довільного (нерегулярного) симплекса, який отримують шляхом розширення або стискання симплекса в залежності від того, як оцінюється попередній крок пошуку мінімуму досліджуваної функції [69]. У загальному вигляді

обраний метод прямого пошуку відноситься до симплексних методів оптимізації. Алгоритм симплексного пошуку полягає у наступному: в вершинах симплекса обчислюють значення функції, що мінімізується, потім вершину з найбільшим значенням функції замінюють за певним правилом новою вершиною, утворюючи тим самим новий симплекс. Далі процедура повторюється до закінчення заданої кількості ітерацій, або до виконання умов досягнення необхідного мінімуму функції. В результаті завершення роботи програмного продукту було отримано швидкості руху транспортного потоку по перегонах та параметри світлофорного регулювання на перехрестях.

Оцінку ефективності контурного управління було проведено за частковими показниками ефективності: часові затримки, обсяги викидів шкідливих речовин в атмосферу, витрати палива. Вибір показників ефективності залежить від мети управління дорожнім рухом. А саме, для забезпечення рівномірного руху транспортного потоку на магістралях та підвищення екологічної безпеки міста.

Для модельного експерименту по визначенню параметрів управління дорожнім рухом [68] на контурі магістралей м. Харків в програмному комплексі була побудована геоінформаційна модель контуру магістралей м. Харків із урахуванням наявних технічних засобів регулювання: дорожніх знаків пріоритету, одностороннього руху та світлофорних пристроїв.

Досліджуваний контур магістралей утворюють вулиці: вул. Сумська (5, 1, 2, 26), вул. Ярослава Мудрого (26, 4, 22, 17), вул. Алчевських (27, 21, 22), вул. Чернишевська (7, 4), вул. Свободи (27, 7, 6, 5), вул. Пушкінська (17, 16, 15, 14, 13, 12) із позначенням примикань другорядних напрямків руху, схему якого наведено на рис. 6.2.

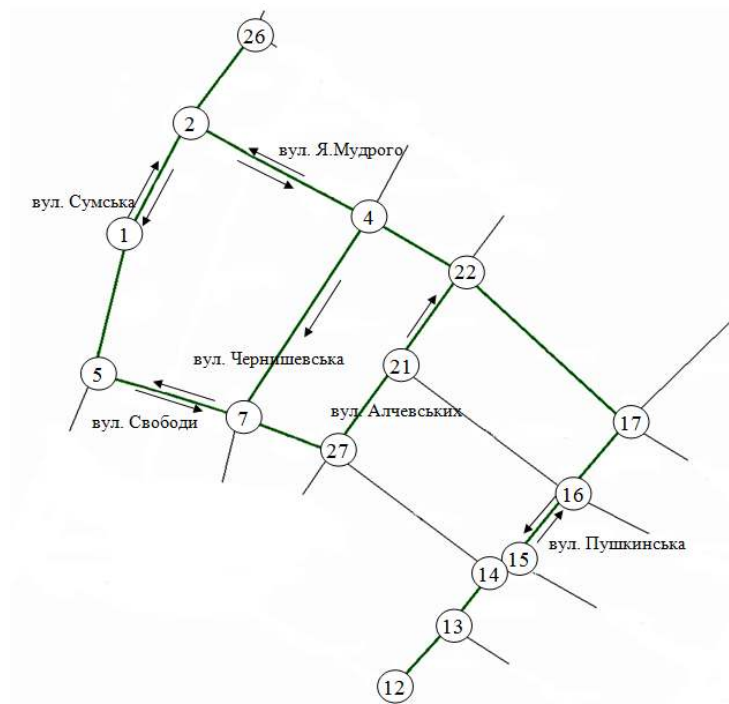


Рисунок 6.2 – Граф контуру ВДМ м. Харків

Особливістю даної мережі є велика кількість вулиць із одностороннім рухом, перехресть без світлофорного регулювання, висока завантаженість вул. Пушкінській, вул. Ярослава Мудрого та вул. Сумської, де права смуга завжди зайнята припаркованими АТЗ, а також на вул. Свободи та вул. Ярослава Мудрого має місце складний роз'їзд зустрічних АТЗ.

У процесі комп'ютерного моделювання для реалізації запропонованого алгоритму контурного управління були проведені експерименти по вибору тривалості циклів командного світлофора 40 с, 50 с і 60 с. Варіанти 40 с і 50 с забезпечили лише частково коректне рішення, при якому частина автомобілів не встигали проїхати на зелений сигнал, запізнюючись на 1-2 с, тому було обрано $T_{\text{ц}} = 60$ с.

Результати розрахунку параметрів контурного управління по вул. Сумській для забезпечення рівномірного руху ТП наведені у табл. 6.1. Решту результатів розрахунків параметрів управління для інших магістралей контуру м. Харків отримано аналогічно.

На рис. 6.3 наведено положення стрічки часу для координації двостороннього руху ТП по вул. Ярослава Мудрого. Аналогічно отримані діаграми для інших

магістралей контуру: вул. Свободи, вул. Пушкінської, вул. Сумської, вул. Алчевських та вул. Чернишевської.

Таблиця 6.1 – Результати розрахунку параметрів контурного управління по вул. Сумська (напрямок на північ)

№ перехрестя	5	1	2	26
Відстань від попереднього	0	218	196	169
Відстань від першого	0	246	470	667
Зсув відповідно мережі	35	28	0	1
Приведений зсув	35	28	60	61
Зсув відносно першого	0	-7	25	26
Тривалість зеленого сигналу	32	39	34	43
Завершення зеленого сигналу	32	32	59	69
Час при 50 км/год, с	0	17,7	33,8	48,0
Ширина смуги пропуску, с		14,3	25,2	21,0

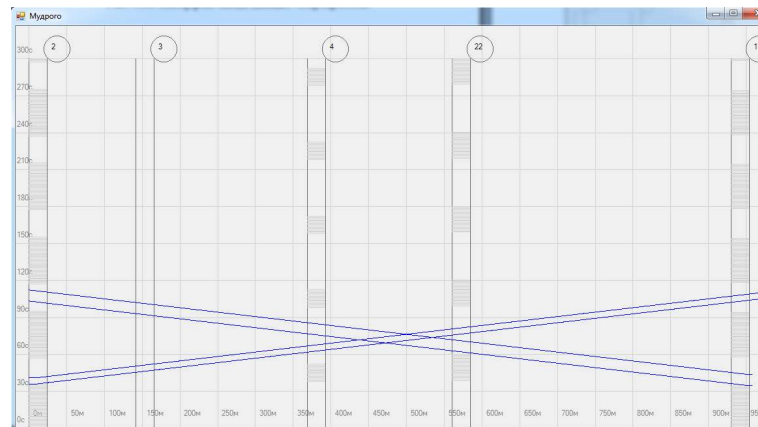


Рисунок 6.3 – Діаграма координації параметрів управління ТП по вул. Ярослава Мудрого

Порівняльний аналіз означених показників ефективності при локальному управлінні на контурі та при контурному управлінні дорожнім рухом проведено шляхом імітаційного моделювання. У розглянутих системах моделювання (програмні продукти імітаційного моделювання у сфері організації руху ТП, такі як VISSIM (PTV AG, Німеччина) [70], GETRAM/AIMSUN [71] та Paramics [72].) є функція відображення у реальному часі реакції ТП на вплив світлофорного регулювання, що є наслідком обраної управляючої дії при контурному управлінні на

ВДМ. Тому визначення ефективності організації рівномірного руху по контуру магістралей м. Харків проведено у програмному середовищі PTV VISSIM (рис. 6.4).

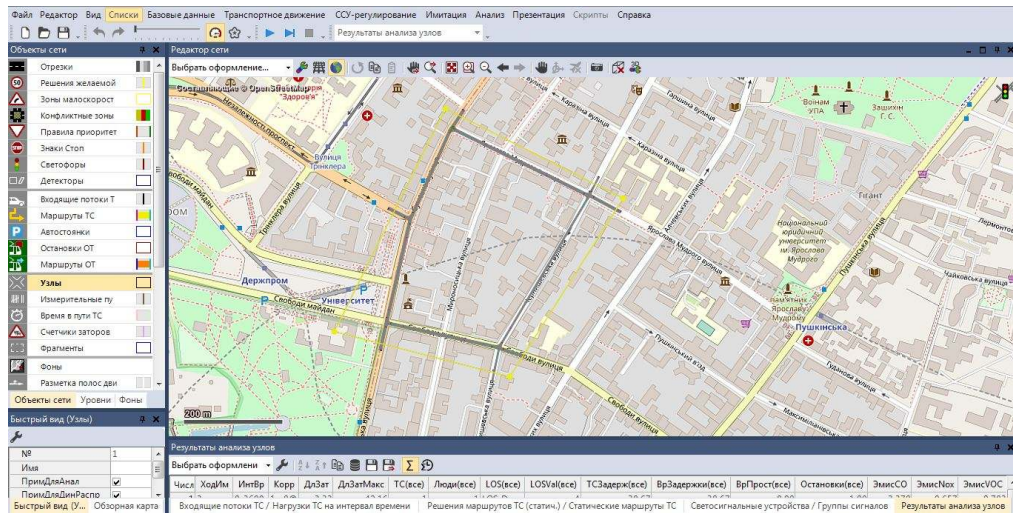


Рисунок 6.4 – Імітаційна модель руху ТП по контуру у PTV VISSIM

Результати порівняльного аналізу даних імітаційного моделювання при локальному та контурному управлінні свідчать про зменшення часових затримок руху АТЗ на 13 %, викидів забруднюючих речовин у повітря — на 15 %, витрат палива – на 15 % (див. табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Порівняльний аналіз показників ефективності контуру

Тип управління	Часові затримки ТЗ, с	Емісія CO , г	Емісія NOx , г	Емісія летючих органічних сполук, г	Витрати палива, л
При локальному управлінні	1050,94	859,266	167,184	199,143	46,527
При контурному управлінні	914,69	731,708	142,363	169,581	39,629

Таким чином доведено, що впровадження заходів контурного управління ДР для організації рівномірного руху ТП на магістралях міста не тільки зменшує часові затримки при русі, а й підвищує екологічну безпеку міста.

7 ОЦІНКА ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ РУХОМ

Збільшення інтенсивності та щільності транспортних потоків на вулично-дорожній мережі, в певних дорожніх умовах призводить до того, що рух стає стисненими, неекономічним і небезпечним. Функціонування системи неможливо розглядати без наявності підсистеми управління, функції якої полягають в зборі, обробці інформації в стані системи і характеристик її елементів, а також вироблення рекомендацій щодо її оптимізації. При оптимізації управління дорожнім рухом, як правило, прагнуть до досягати різних цілей і в залежності від них розглядаються різні завдання раціонального управління. Цілями організації дорожнього руху є економічність, безпека (як соціальна, так і екологічна), а також комфорт учасників руху.

Продуктивність автомобільного транспорту, його безпека і комфортабельність, а також собівартість перевезень у значній мірі залежать від шляхів сполучення і якості організації руху на них. Кожному елементу вулично-дорожньої мережі відповідають певні критерії ефективності його функціонування (соціальні, екологічні, економічні, енергетичні, техніко-експлуатаційні), що в значній мірі визначаються як параметрами об'єкту управління (транспортні потоки), так і якістю управлінських рішень.

Загальне поняття ефективності будь-якої системи полягає у результативності створення і використання об'єкта як відношення сумарного корисного ефекту до сукупних витрат на його життєвий цикл [73].

Проведений аналіз існуючих оцінок ефективності транспортних систем [74, 75], і зокрема оцінок ефективності управління дорожнім рухом дозволяє стверджувати, що здебільшого вони базуються на суб'єктивних оцінках експертів [76], а деякі показники не розраховуються в умовах високого ступеня невизначеності вихідних параметрів.

Відомо [76], що отримання деяких окремих оціночних показників ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі вимагає розробки спеціальних методик визначення та розрахунку необхідних параметрів або проведення натурних обстежень, які потребують значних витрат робочого часу найманих обліковців та суттєвих фінансових витрат. Так, наприклад, отримання достовірної матриці кореспонденцій на сьогодні являє собою складну задачу. Виникає запитання на основі існуючих показників розробити вдосконалений метод оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.

Кожній ділянці вулично-дорожньої мережі відповідають певні критерії ефективності її функціонування (соціальні, екологічні, економічні, енергетичні, техніко-експлуатаційні). Для розробки узагальненого показника оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі необхідно виділити основні, найбільш значущі показники, що дозволяють оцінити ефективність функціонування окремих елементів мережі.

Пропоновані заходи для підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі засновані на зміні швидкісного режиму на окремих ділянках мережі, що дозволяє запобігти появі черги автотранспортних засобів. Тому оцінку ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі пропонується проводити на її основних елементах.

На ефективність функціонування вулично-дорожньої мережі впливають соціальні показники ефективності функціонування перегонів, основним з яких є витрати часу при русі по перегонам мережі (залежать від рівня завантаження рухом). Витрати часу при русі по перегонам вулично-дорожньої мережі можуть бути визначені на підставі вимірів на реальній вулично-дорожньої мережі або розрахунковим шляхом. Витрати часу при русі по перегонам вулично-дорожньої мережі складаються з витрат часу на прискорення при вході на перегін, тривалості руху з усталеною швидкістю, витрат часу на уповільнення при світлофорному регулюванні.

У разі, коли на перегоні виникає затор, витрати часу на проїзд по перегону зростають на величину часу руху в заторі

$$T_{пер(з)} = t_p + t_{vi} + t_з + t_{д.з.}, \quad (7.1)$$

де t_p – тривалість розгону на початку перегону, с

t_{vi} – тривалість руху по перегону зі сталою швидкістю, с;

$t_з$ – тривалість уповільнення при підході до регульованого перехрестя, с;

$t_{д.з.}$ – час руху в заторі, с.

Оцінку транспортної затримки на підході до регульованого перехрестя пропонується здійснити шляхом, який заснований на визначенні часу руху в заторі по формулі [77, 78]:

$$t_{д.з.} = \frac{L_{зат} \cdot 3,6}{V_{зат}} + 0,24 \cdot V_p, \quad (7.2)$$

де $L_{зат}$ – довжина затору, м;

$0,24 \cdot V_p$ – середні втрати часу в результаті розгону-гальмування, год;

V_p – середня швидкість перед перехрестям, км/год;

$V_{зат}$ – середня швидкість при русі в заторі, км/год.

Середня швидкість руху автомобіля в заторі визначається шляхом натурних спостережень або за формулою [79]

$$V_{зат} = \frac{N \cdot l_{сп}}{1000 \cdot n}, \quad (7.3)$$

де N – інтенсивність транспортного потоку в час «пік», авт./год;

$l_{сп}$ – середня довжина, яку займає автомобіль в заторі, м;

n – кількість смуг руху на перегоні, од.

Середня відстань по довжині, яке займає автомобіль в заторі можна визначити за формулою [79]

$$l_{\text{cp}} = \frac{1000}{81 + 0,125 \cdot p}, \quad (7.4)$$

де p – частка легкових автомобілів в транспортному потоці, %.

За різних значень швидкості вільного руху зв'язок часу руху у заторі і його довжини представлена на рис. 7.1.

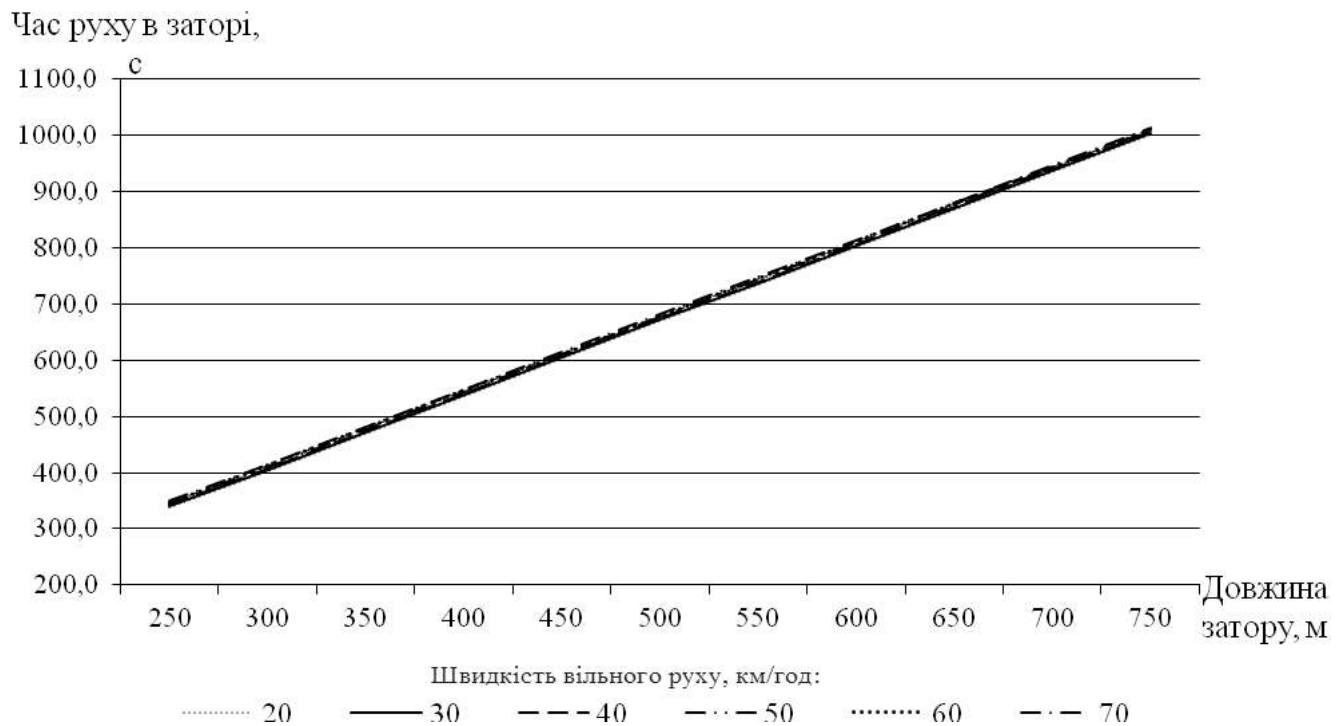


Рисунок 7.1 – Зв'язок часу руху і довжини затору на підході до перехрестя за різної швидкості вільного руху транспортного потоку

Актуальним завданням є оцінка ефективності дорожнього руху на перехрестях вулично-дорожньої мережі, так як на даному елементі мережі відбувається взаємодія транспортних і пішохідних потоків, а також зміна напрямку руху. Тому особливу увагу багатьох авторів приділяється вивченню затримок транспортних засобів на перетинах вулично-дорожньої мережі. Вплив параметрів руху на перехрестях має значний вплив на ефективність всієї вулично-дорожньої мережі міста.

Аналізуючи існуючі дослідження транспортних затримок на регульованих перехрестях вулично-дорожньої мережі, було з'ясовано, що існує два основних підходи до визначення затримок на регульованих перехрестях: розрахунковий і експериментальний.

Беручи до уваги необхідність оцінки транспортних затримок для різних ситуацій (включаючи введення обмеження швидкісного режиму), а також для можливості застосування узагальнюючої оцінки ефективності руху в складі автоматизованих систем управління дорожнім рухом, пропонується для визначення транспортної затримки застосувати розрахункові методи.

У сучасній практиці організації дорожнього руху застосовується кілька основних методів визначення транспортної затримки на регульованих перехрестях [80]. Метод, запропонований Міллером заснований на припущенні про нестационарності транспортного потоку.

$$\tau = \frac{T_{\text{ц}} - t_{\text{oi}}}{2T_{\text{ц}}(M_{\text{н}} - N)} \left(\frac{IM_{\text{н}}(2x - 1)}{N(1 - x)} + M_{\text{н}}(T_{\text{ц}} - t_{\text{oi}}) + I - 1 + \frac{N}{M_{\text{н}}} \right), \quad (7.5)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу світлофорного регулювання, с;

t_{oi} – тривалість основної фази, с;

$M_{\text{н}}$ – потік насичення, авт./с;

N – інтенсивність даного напрямку, авт./с;

I – коефіцієнт варіації ($I = 0 \dots 1$);

x – ступінь насичення фази.

Беручи до уваги необхідність оцінки транспортних затримок в умовах руху транспортного потоку підвищеної щільності, при якому прибуття транспортних засобів до перехрестя характеризується постійними інтервалами застосуємо для розрахунку транспортної затримки на регульованому перехресті спрощений метод Вебстера [80]. Затримка транспортних засобів на регульованому перехресті визначається за формулою

$$t_{\Delta P} = 0,9 \cdot \left[\frac{T_{\text{ц}} \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2 \cdot N \cdot (1 - x)} \right], \quad (7.6)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу світлофорного регулювання, с;

λ – відношення тривалості зеленого сигналу до тривалості циклу регулювання;

N – інтенсивність транспортного потоку в даному напрямку, авт./год;

x – ступінь насичення напрямку.

Ступінь насичення напрямку визначається за формулою [80]:

$$x = \frac{N \cdot T_{\text{ц}}}{M_{\text{н}} \cdot t_{\text{oi}}}, \quad (7.7)$$

де $M_{\text{н}}$ – потік насичення, авт./год;

t_{oi} – тривалість сигналу світлофору, що дозволяє рух, с.

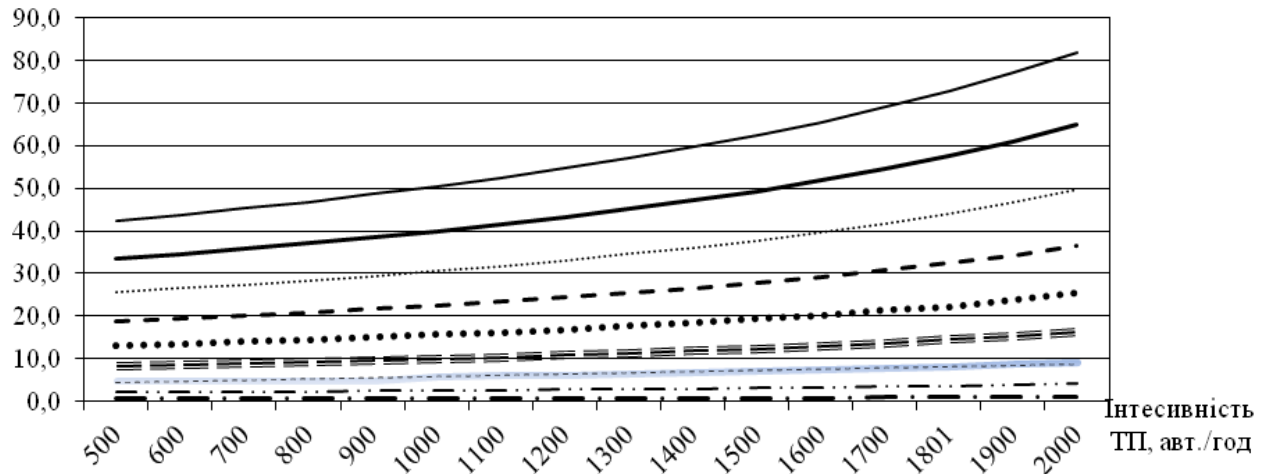
При постійних значеннях ширини проїзної частини, тривалості циклу світлофорного регулювання та основного такту значення транспортної затримки на регульованому перехресті, в досліджуваному напрямку залежить від інтенсивності транспортного потоку (див. рис. 7.2).

Таким чином, параметрами, визначальними величину затримки на перехресті, є тривалість циклу регулювання і сигналу світлофора, що дозволяє рух, а також інтенсивність руху транспортного потоку на підході до перехрестя.

В результаті аналізу існуючих економічних параметрів дорожнього руху з'ясовано, що основна увага приділяється вивченню економічних характеристик планувальних структур міста, а також визначенню витрат палива для можливості ведення господарської діяльності [80]. Для оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі, пропонується застосувати транспортні витрати на проїзд транспортного потоку по перегону вулично-дорожньої мережі, які залежать

інтенсивності транспортного потоку, а також від часу проїзду по перегону, і розраховуються за формулою [81], грн. авт./км.

Транспортна
затримка, с



Частка основного такту в циклі світлофорного регулювання:

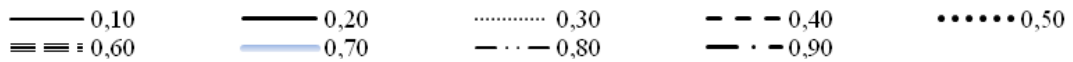


Рисунок 7.2 – Залежність транспортної затримки на регульованому перехресті від інтенсивності транспортного потоку при різному співвідношенні основного такту і циклу регулювання

$$S_{i-j} = C_{\text{ср}(i-j)} \cdot T_{\text{пер}} \cdot N_{\text{прив}(i-j)}, \quad (7.8)$$

де S_{i-j} – витрати на проїзд транспортного потоку по перегону $i-j$, грн./авт. год;

$C_{\text{ср}(i-j)}$ – усереднена собівартість пробігу автомобіля, грн./км;

$T_{\text{пер}}$ – витрати часу на проїзд по перегону, год;

$N_{\text{прив}(i-j)}$ – приведена інтенсивність транспортного потоку, авт./год.

Усереднену собівартість пробігу автотransпортних засобів визначаємо як середньозважену, виходячи зі складу транспортного потоку за формулою, грн./км:

$$C_{cp(i-j)} = C_{л.а.} \cdot \gamma_{л.а.} + C_{гр.} \cdot \gamma_{гр.} + C_{автоб.} \cdot \gamma_{автоб.}, \quad (7.9)$$

де $C_{л.а.}$, $C_{гр.}$, $C_{автоб.}$ – собівартість пробігу відповідно легкових автомобілів, вантажних, автомобілів, автобусів, грн./км;

$\gamma_{л.а.}$, $\gamma_{гр.}$, $\gamma_{автоб.}$ – відповідно частка автомобілів різних типів, %.

Визначення собівартості пробігу автотransпортних засобів різних типів може бути виконано на підставі норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті [82].

Екологічну оцінку ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі пропонується виконати за допомогою відомої методики [83]. Викид i -ої забруднюючої речовини (г/с), що рухається транспортного потоку на ділянці вулично-дорожньої мережі протяжністю L (км) визначається за формулою:

$$M_L = \frac{L}{3600} \cdot \sum_1^k M_{ki}^{\Pi} \cdot G_k \cdot k_V \cdot r_{V_{ki}}, \quad (7.10)$$

де M_{ki}^{Π} – пробіговий викид i -ї шкідливої речовини автомобілями k -ої групи для міських умов експлуатації, г/км;

k – кількість груп автомобілів;

G_k – фактична найбільша інтенсивність транспортного потоку, авт./год;

$r_{V_{ki}}$ – поправочний коефіцієнт, що ураховує середню швидкість руху транспортного потоку (V_{ki}), км/ч на ділянці вулично-дорожньої мережі;

L – протяжність ділянки вулично-дорожньої мережі, з якої виключена довжина черги автотransпортних засобів перед заборонним сигналом світлофора, м.

Визначення оцінки рівня забруднення повітря в зонах перехресть проводять по найбільшим значенням вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах, які характерні для режимів руху автотransпортних засобів в районі перетину вулично-дорожньої мережі (гальмування, холостий хід, розгін). Отже, екологічні показники

можу бути застосовані як самостійно, так і включені в узагальнюючий показник для оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.

До групи енергетичних показників [84], які оцінюють умови руху автотранспортних засобів відносяться: шум прискорення, градієнт швидкості, шум енергії, градієнт енергії.

Шум прискорення пропонується визначати залежністю [84]

$$\sigma_a = \left[\frac{\Delta V^2}{T} \cdot \sum_{i=1}^K \frac{n^2}{\Delta t_i} - \left(\frac{V_T - V_0}{T} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (7.11)$$

де ΔV – еталонне значення зміни швидкості, (визначається при реєстрації швидкісного режиму), км/год;

n – число замірів швидкості за час Δt , год;

Δt – період часу між замірами швидкості, год;

V_0 – швидкість на початку перегону вулично-дорожньої мережі, км/год;

V_T – швидкість в кінці перегону вулично-дорожньої мережі, км/год.

Шум прискорення є найбільш поширеною характеристикою умов руху на вулично-дорожньої мережі. Тому пропонуємо застосувати цей показник для розробки узагальнюючого показника для оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.

Відомі методи, в яких з метою оцінки функціонування перегонів вулично-дорожньої мережі, аналізують рівні швидкісних режимів, які відносяться до техніко-експлуатаційними показниками. Кількісною характеристикою швидкісного режиму на перегонах вулично-дорожньої мережі є відповідний коефіцієнт, який визначається наступним виразом [85, 86]

$$K_v = \frac{V_c}{V_p}, \quad (7.12)$$

де V_c – швидкість повідомлення, яка реалізується без запланованих зупинок, км/год;
 V_p – дозволена швидкість, км/год.

Крім того, до групи техніко-експлуатаційних показників функціонування вулично-дорожньої мережі відносяться такі параметри: середня швидкість руху, довжина черги біля стоп-лінії перехрестя.

8 ПРОГНОЗУВАННЯ ДІЛЯНОК ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

В Україні протягом останніх тридцяти років у ДТП щорічно гинуло від 5 до 10 тисяч чоловік, близько 40 тисяч отримувало поранення. Мірило цієї трагедії таке — щорічно зникає населення одного середнього за величиною райцентру. За питомими показниками аварійності в Україні спостерігається значний відрив від середньоєвропейського рівня. Надзвичайно висока тяжкість ДТП: на сто потерпілих у пригодах припадає у 7-10 разів більше загиблих, ніж у США, Англії, Німеччині. Дорожньо-транспортні обставини на багатьох ділянках доріг загального користування України в даний час така, що потребує свідомого втручання шляхом здійснення впливу на учасників дорожнього руху, стан доріг і дорожній рух з метою попередження виникнення ДТП та зниження тяжкості їх наслідків.

У практиці ряду країн контроль безпеки дороги для користувачів здійснюється на підставі проведення аудиту безпеки. Як правило, країни які використовують практику аудиту безпеки, згідно з міжнародною статистикою, мають найбезпечніші дороги в світі (Великобританія, Швеція, Фінляндія, Нідерланди), або показують стійку динаміку зниження аварійності на дорогах. Основне завдання аудиту полягає у виявленні потенційно небезпечних ділянок дороги, де збіг параметрів дорожніх умов, режимів руху і можливих помилок людини може призвести до ДТП.

Встановлено, що найбільш відповідним методом для проведення аудиту БДР є метод підсумкового коефіцієнта аварійності, який враховує вплив більшості параметрів умов руху на рівень безпеки. Слід, також, відмітити, що існують різні модифікації даного методу, зокрема експрес-метод оцінки безпеки, який було запропоновано в роботі [87].

Моделювання показників безпеки дорожнього руху.

Особливості дорожнього руху як об'єкту управління формують необхідність створення моделей дорожнього руху або моделей оціночних показників, що дозволяють прогнозувати наслідки змін стану системи, які впливають на

ефективність управління дорожнім рухом. Одним з таких показників є ризик виникнення дорожньо-транспортної пригоди.

Наявність ризику в ДР визначає вимоги, що висуваються перед окремими елементами і системою в цілому. Ризик має імовірнісний характер результату події, при цьому під словом ризик розуміють ймовірність втрат, хоча його можна описати і як ймовірність отримати результат, відмінний від очікуваного. Ризик — це ймовірність настання несприятливої події [88]. У дорожньому русі «несприятливою подією» є ДТП або наявність постраждалих в ДТП, виникнення яких пов'язане з великою кількістю чинників ризику. Ризик події у вітчизняній практиці прийнято називати коефіцієнтом відносної аварійності або коефіцієнтом пригод.

Ризик виникає внаслідок специфіки процесу дорожнього руху, його особливостей дорожніх умов та складу регулюючих технічних засобів на дорозі із урахуванням впливу факторів навколишнього середовища (екологічної, політичної, правової, технологічної, соціальної) та суб'єктивних властивостей учасників дорожнього руху.

Ризик слід розглядати як можливість або загрозу відхилення результатів конкретних рішень або дій від очікуваних. Тому випадковість слід розглядати як імовірнісну існуючу складову при визначенні безпеки дорожнього руху. Згідно теорії Бернуллі [89], при наявності достатньо великого обсягу вибірки статистичних даних, імовірність того, що відхилення відносної частоти від теоретичної імовірності, буде достатньо малим та прагне до одиниці.

Тоді, для застосування елементів теорії імовірності, розглянемо дорожні умови, як випадкову величину, яка може приймати невідоме значення дискретно. При цьому, виникнення ДТП можливо віднести до незалежних випадкових величин, які являють собою результат незалежних випадкових подій. А при дослідженні закономірностей, що виявляють себе завдяки випадковостям, необхідно дослідити закони розподілення цих випадкових величин. Зміна статистичних даних щодо кількості ДТП на дорогах має імовірний характер, бо залежить від змінних параметрів дорожніх умов та мінливого впливу зовнішнього середовища. Завдяки такому підходу, постає питання можливості використання методів оцінки рівня БДР

не тільки для виявлення потенційних ділянок небезпеки, а також для прогнозування можливості виникнення ДТП.

Відомо, що для прогнозування кількості пригод на ділянках автомобільних доріг є практика враховування зв'язку між кількістю пригод на 1 млн. авт.-км. k_a та значенням підсумкового коефіцієнта аварійності $K_{\text{під}}$ на означених ділянках [90]. Отже, для оцінки можливості застосування різних модифікацій методу підсумкового коефіцієнту аварійності для прогнозування рівня аварійності та обґрунтування вибору методу оцінки рівня БДР при проведенні аудиту безпеки на автомобільних дорогах загального користування необхідно провести перевірку відповідності законів розподілу випадкових величин – рівня безпеки за відповідним показником та рівня аварійності.

У багатьох випадках закон розподілу досліджуваної випадкової величини невідомий, але є підстави припустити, що його визначення може бути застосовано для опису статистичних даних. Припустимо, що досліджувана випадкова величина (рівень БДР) підпорядкована одному з теоретичних законів розподілу випадкової величини.

Завдання апроксимації на основі відомих законів розподілу вирішується ітераційно і включає виконання трьох основних кроків:

- попереднього вибору виду закону розподілу;
- визначення оцінок параметрів закону розподілу;
- оцінки узгодженості закону розподілу і емпіричних даних.

Якщо заданий рівень узгодженості досягнуто, то завдання вважається вирішеним, а якщо ні, то кроки повторюються знову, починаючи з першого кроку, на якому обирається інший вид закону, або починаючи з другого - шляхом деякого уточнення параметрів розподілу.

Оскільки заздалегідь не відомо яким чином розподілено рівень БДР на автомобільних дорогах, тому для подальшої перевірки оберемо широкий перелік відомих законів розподілу: Lognormal; Loglogistic; Loglogistic (3-Parameter); Gamma; Birnbaum-Saunders; Lognormal (3-Parameter); Gamma (3-Parameter); Inverse Gaussian; Weibull (3-Parameter); Beta (4-Parameter); Weibull; Exponential (2-Parameter); Half

Normal; Largest Extreme Value; Exponential; Rayleigh; Maxwell; Triangular; Logistic; Laplace; Normal; Uniform; Smallest Extreme Value; Pareto.

В зв'язку з необхідністю збереження точності розрахунків, їх громіздкості та багатократного повторення розрахунків для визначення виду апроксимуючого закону розподілу рівня БДР застосуємо спеціалізоване програмне забезпечення STATGRAPHICS Centurion (пробна версія). Сформовані відповідним чином бази даних рівня БДР адаптовані та інтегровані в програмне забезпечення.

Оскільки, на початку дослідження були обрані різні підходи до визначення рівня БДР, проводимо перевірку відповідності випадкової величини одному з законів розподілу для кожного випадку. А саме:

Варіант 1. Рівень БДР виражений підсумковим коефіцієнтом аварійності, який визначено за класичною моделлю проф. Бабкова В. Ф. [90]

$$K_{\text{під}} = \prod_{i=1}^n k_i, \quad (8.1)$$

де $K_{\text{під}}$ – підсумковий коефіцієнт аварійності;

k_i – частковий коефіцієнт аварійності;

n – число часткових коефіцієнтів аварійності

Варіант 2. Рівень БДР виражений підсумковим коефіцієнтом аварійності, який визначено за експрес-моделлю.

$$K_{\text{під}}^* = -36,517 + 8,818 \cdot F_1 - 11,749 \cdot F_2 - 1,209 \cdot F_3 + 10,573 \cdot F_4 - 4,784 \cdot F_5, \quad (8.2)$$

де F_1 – латентний фактор умов руху, який враховує вплив ширини дороги на рівень безпеки дорожнього руху;

F_2 – латентний фактор умов руху, який враховує вплив населених пунктів і перехресть з іншими автомобільними дорогами на рівень безпеки дорожнього руху;

F_3 – латентний фактор умов руху, який враховує вплив умови видимості на

рівень безпеки дорожнього руху;

F_4 – латентний фактор умов руху, який враховує вплив кута позовжнього нахилу і глибокого кювету, обриву на рівень безпеки дорожнього руху;

F_5 – латентний фактор умов руху, який враховує вплив довжини ділянок (поза населеними пунктами і на підході до населеного пункту) на рівень безпеки дорожнього руху.

За експериментальними даними при дослідженні різних законів розподілу вибираємо той, який найбільшою мірою відповідає виміряній випадковій величині (рівню БДР). У цьому випадку одна і та ж вибірка може належати з різною ймовірністю кожному з розглянутих законів розподілу.

Результати попереднього підбору найбільш відповідних законів представимо у вигляді графіку-діаграми розподілу рівня БДР за кожним з розглянутих варіантів (див. рис. 8.1-8.2).

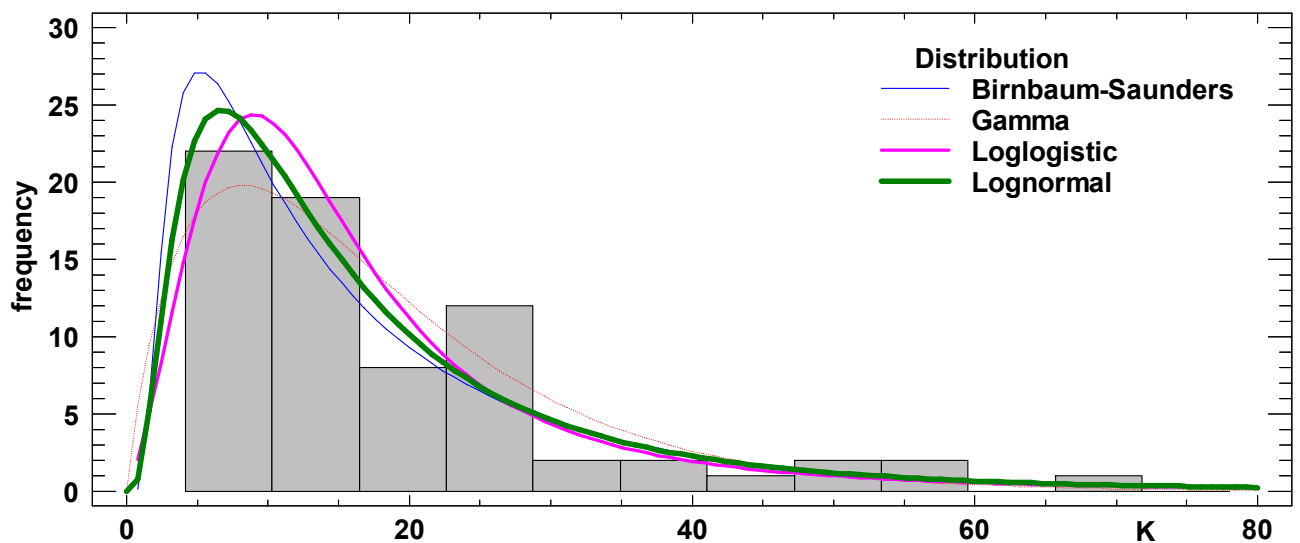


Рисунок 8.1 – Гістограма частот рівнів БДР та апроксимуючих кривих законів розподілу для варіанта 1

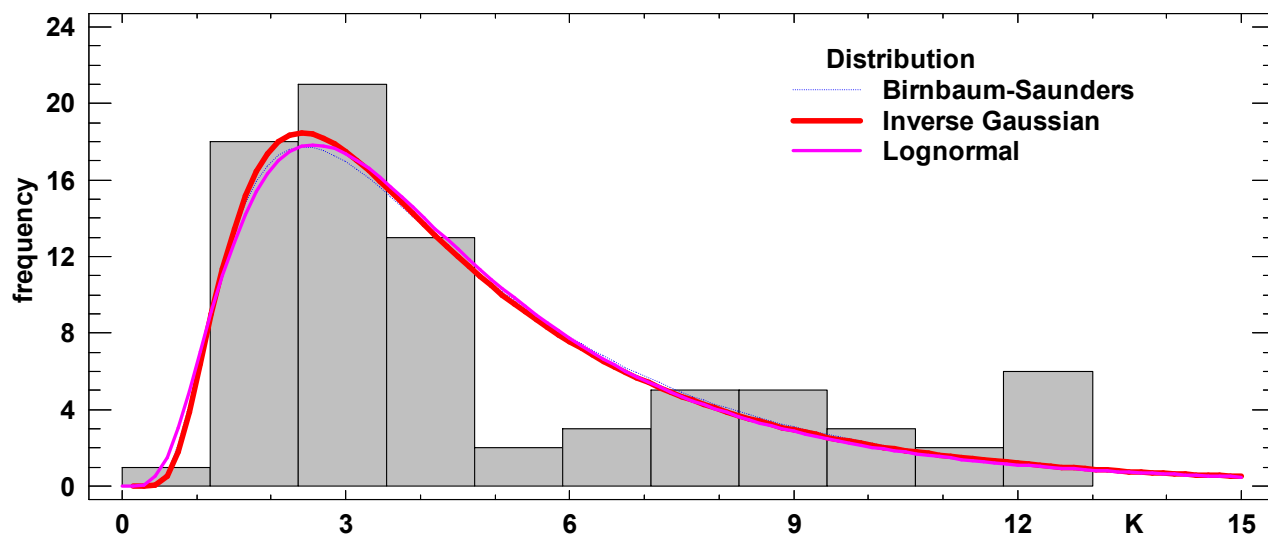


Рисунок 8.2 – Гістограма частот рівнів БДР та апроксимуючих кривих законів розподілу для варіанта 2

Також одним з показників візуальної оцінки відповідності випадкової величини певним теоретичним розподілам є розкид кумулятивного накопичення квантелів рівня БДР. Відповідні графіки за варіантами наведені на рис. 8.3-8.4.

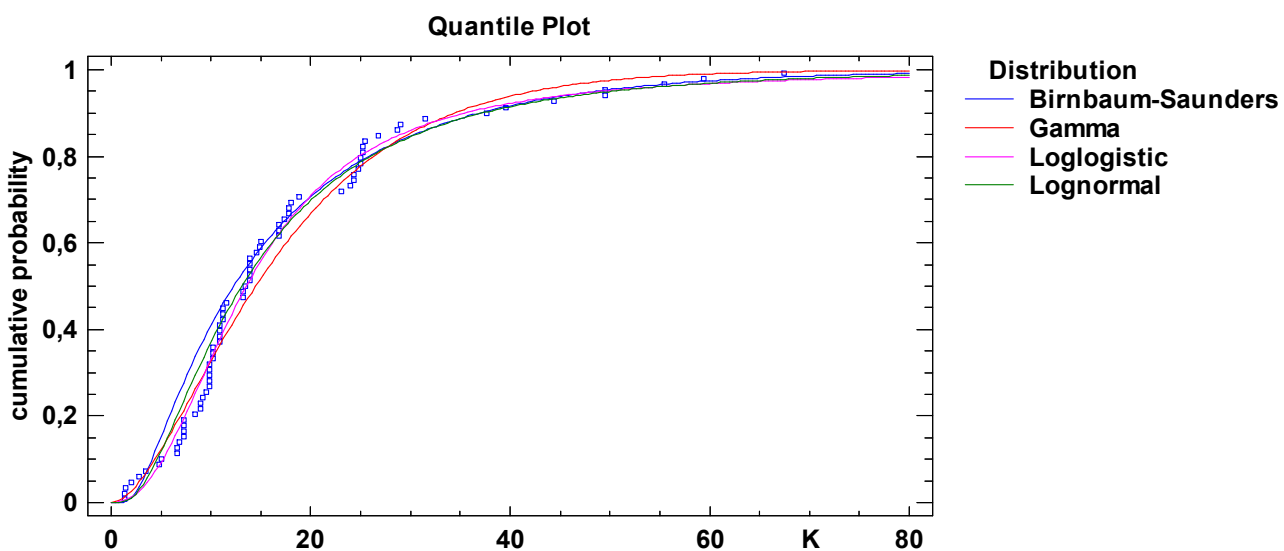


Рисунок 8.3 – Відповідність квантелів рівня БДР теоретичним розподілам (Варіант 1)

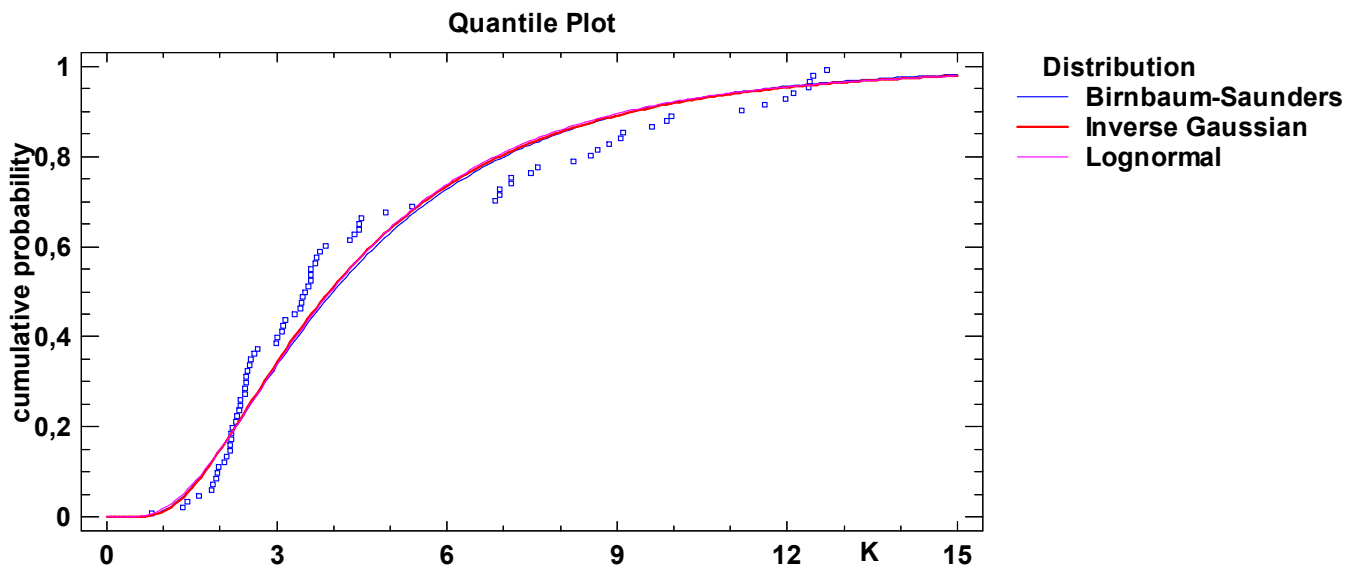


Рисунок 8.4 – Відповідність квантилей рівня БДР теоретичним розподілам
(варіант 2)

До вибраних законів розподілу проводиться перевірка гіпотези про те, що наявна вибірка може належати цьому закону. Якщо гіпотеза не відкидається, то можна вважати, що завдання апроксимації вирішене. Якщо гіпотеза відкидається, то можливі наступні дії: зміни значень оцінок параметрів розподілу; вибір іншого виду закону розподілу; продовження спостережень і поповнення вибірки.

Для перевірки гіпотези відповідності випадкової величини (рівня БДР) одному з законів розподілу, відповідно до критерію згоди, по вибірці визначаємо чи узгоджуються результати спостережень з висловленим припущенням. Існують різні критерії згоди: Пірсона, Колмогорова, Фішера і інші. Найбільш часто застосовується критерій Пірсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}, \quad (8.3)$$

де n_i – кількість значень випадкової величини, що потрапили в i -й інтервал;

n – обсяг вибірки;

$F(x)$ – гіпотетичний теоретичний закон розподілу ймовірностей випадкової величини;

$p_i = F(x_{i+1}) - F(x_i)$ – теоретична ймовірність попадання випадкової величини в i інтервал.

Правило перевірки гіпотези: якщо $\chi^2 > \chi^2(f)$, то на рівні значущості 0,05, тобто з достовірністю $(1 - 0,05)$ гіпотеза про відповідність закону розподілення відхиляється. Для розглянутих умов значення критерію χ^2 не повинне бути меншим за 0,05, а значення критерію Колмогорова-Смірнова не повинне перевищувати значення 0,155. Отримані значення критеріїв відповідності для різних варіантів та всіх розглянутих теоретичних розподілів наведені в табл. 8.1-8.2.

Таблиця 8.1 – Результати розрахунків критерію Пірсона та Колмогорова-Смірнова для відповідних законів розподілу (Варіант 1)

Закон розподілу	Кількість параметрів	Критерій χ^2 Пірсона	Критерій Колмогорова-Смірнова
Lognormal	2	0,339168	0,114924
Loglogistic	2	0,307229	0,0739222
Loglogistic (3-Parameter)	3	0,215619	0,0694499
Gamma	2	0,211156	0,0939859
Birnbaum-Saunders	2	0,211089	0,156817
Lognormal (3-Parameter)	3	0,17625	0,0779868
Gamma (3-Parameter)	3	0,15135	0,0930263
Inverse Gaussian	2	0,149857	0,166606
Weibull (3-Parameter)	3	0,116978	0,107956
Beta (4-Parameter)	4	0,0813614	0,0950065
Weibull	2	0,0737362	0,104155
Exponential (2-Parameter)	2	0,0506972	0,175455
Half Normal	2	0,0383732	0,128982
Largest Extreme Value	2	0,0291717	0,120167
Exponential	1	0,0106812	0,210907
Rayleigh	2	0,00499189	0,188612
Maxwell	2	0,00138896	0,185224
Triangular	3	0,000346692	0,269634
Logistic	2	0,000308184	0,123386
Laplace	2	0,000150068	0,132583
Normal	2	0,0000157091	0,185486

Таблиця 8.2 – Результати розрахунків критерію Пірсона та Колмогорова-Смірнова для відповідних законів розподілу (варіант 2)

Закон розподілу	Кількість параметрів	Критерій χ^2 Пірсона	Критерій Колмогорова-Смірнова
Inverse Gaussian	2	0,0938644	0,119636
Birnbaum-Saunders	2	0,0692957	0,129437
Lognormal	2	0,0527782	0,123544
Lognormal (3-Parameter)	3	0,0490058	0,106167
Loglogistic (3-Parameter)	3	0,0353249	0,119185
Loglogistic	2	0,0202439	0,125499
Gamma (3-Parameter)	3	0,0176558	0,140053
Exponential (2-Parameter)	2	0,0161589	0,177814
Weibull (3-Parameter)	3	0,0103846	0,142844
Half Normal	2	0,002286	0,165774
Gamma	2	0,00197293	0,165533
Weibull	2	0,000280103	0,172863
Beta (4-Parameter)	4	0,000170647	0,1852
Triangular	3	0,000156911	0,243714
Largest Extreme Value	2	0,0000485294	0,172242
Exponential	1	0,0000202004	0,26423
Rayleigh	2	0,00000283265	0,242174
Maxwell	2	2,13986E-7	0,234205
Pareto	1	5,17251E-8	0,311263
Laplace	2	1,59066E-8	0,208571

Наведемо параметри визначених законів розподілу для різних варіантів.

Варіант 1. Розглянуто 77 значень рівня БДР від 1,30977 до 67,5. Встановлено можливі розподіли:

- Lognormal з параметрами: середнє 18,2612, стандартне відхилення 17,7436, лог. шкала, середнє = 2,57238, лог. шкала – стандартне відхилення 0,815355;
- Loglogistic з параметрами: медіана 13,5475, форма 0,436952;
- Gamma з параметрами: середнє 0,108215, масштаб 0,108215;
- Birnbaum-Saunders з параметрами: середнє 0,901806, масштаб 12,2821.

Варіант 2. Розглянуто 79 значень рівня БДР від 0,785893 до 12,7047. Встановлено можливі розподіли:

- Birnbaum-Saunders з параметрами: середнє 0,677007, масштаб 3,99261;
- Inverse Gaussian з параметрами: середнє 4,90018, масштаб 1,95751;
- Lognormal з параметрами: середнє 4,89241, стандартне відхилення 3,58409,

лог. шкала, середнє 1,37287, лог. шкала, стандартне відхилення 0,655455.

Виникає проблема невизначеності результату, оскільки декілька розподілів не суперечать нульовій гіпотезі. Формальної процедури вибору з безлічі несуперечливих законів розподілу, більшою мірою відповідного вибірці даних, немає. Крім того, критерії згоди мають різну потужність по відношенню до різних альтернатив.

За експериментальними даними з заданої множини різних законів розподілів вибираємо той, який найбільшою мірою відповідає виміряній випадковій величині (рівню БДР). У цьому випадку одна і та сама вибірка може належати з різною ймовірністю кожному з розглянутих законів розподілу.

Для додаткового обґрунтування застосування конкретного методу оцінки БДР та закону розподілу було обрано відносний коефіцієнт аварійності

$$k_a = \frac{10^6 \sum n_{\text{ДТП}}}{365 \cdot N \cdot l}, \quad (8.4)$$

який в своїх дослідженнях для прогнозування аварійності також використовували В.Ф. Бабков, О.А. Дівочкін, В.І. Пуркін, Ю.М. Ситников, В.В. Чванов, І.Ф. Живописців та інші дослідники [90].

Для визначення закону розподілу відносного коефіцієнта аварійності (k_a), який відображає ретроспективні дані аварійності на АД загального користування застосовано наведену вище методику вибору закону розподілу. Результати попереднього аналізу найбільш відповідних законів представимо у вигляді графіку-діаграми розподілу рівня БДР (відносного коефіцієнта аварійності) (див. рис. 8.5) та розкид кумулятивного накопичення квантелів рівня БДР. Відповідний графік наведено на рис. 8.6. Отримані значення критеріїв відповідності для різних варіантів та всіх розглянутих теоретичних розподілів наведені в табл. 8.3.

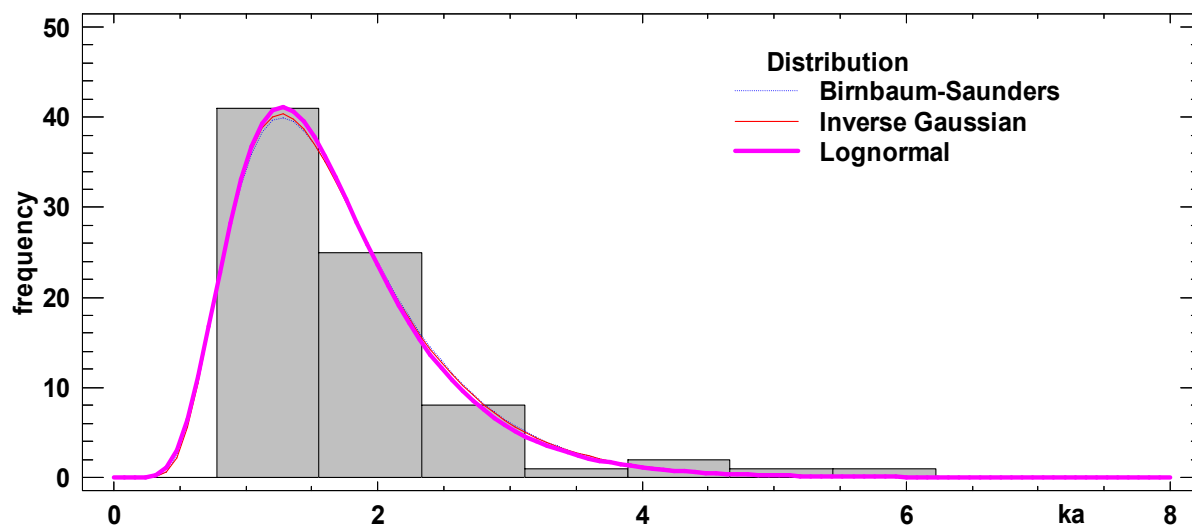


Рисунок 8.5 – Гістограма частот відносного коефіцієнта аварійності та апроксимуючих кривих законів розподілу

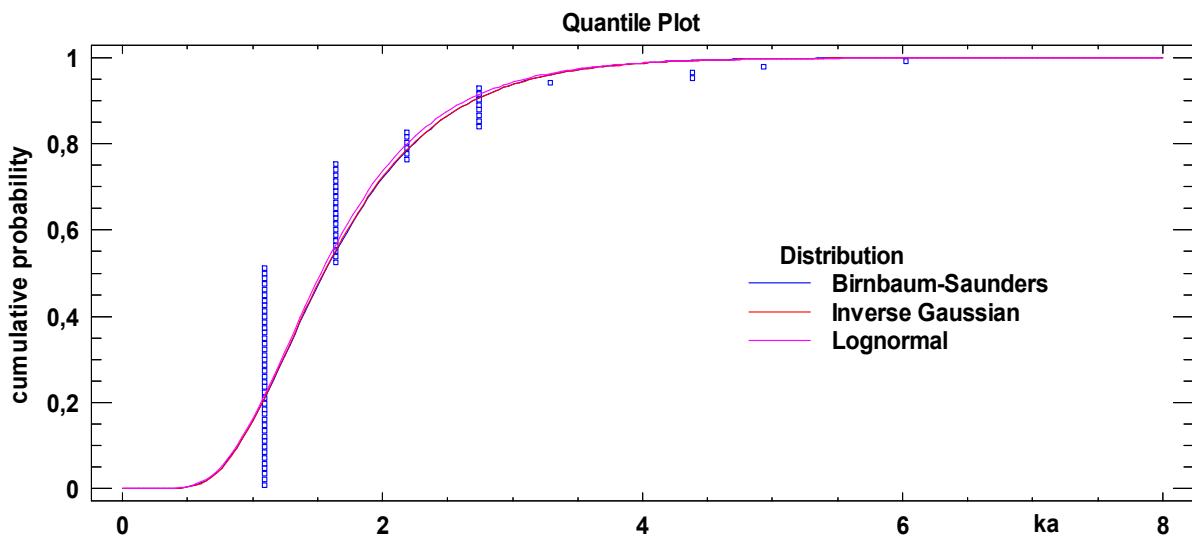


Рисунок 8.6 – Відповідність квантилей відносного коефіцієнта аварійності теоретичним розподілам

Таблиця 8.3 – Результати розрахунків критерію Пірсона та Колмогорова-Смірнова для відповідних законів розподілу

Закон розподілу	Кількість параметрів	Критерій Пірсона	Критерій Колмогорова-Смірнова
Inverse Gaussian	2	0,0711119	0,306963
Birnbaum-Saunders	2	0,0629081	0,308132
Lognormal	2	0,0614718	0,301095
Largest Extreme Value	2	0,0254149	0,323397
Loglogistic	2	0,0220005	0,280929
Generalized Gamma	3	0,0187537	0,302558
Pareto (2-Parameter)	2	0,00943405	0,518987
Generalized Logistic	3	0,00654138	0,322202
Gamma	2	0,00502331	0,291121
Logistic	2	0,0000688542	0,274624
Weibull	2	0,00000697776	0,283608

Для обраних законів розподілу проведено перевірку гіпотези про те, що наявна вибірка може належати цьому закону. Якщо гіпотеза не відкидається, то можна вважати, що завдання апроксимації вирішене. Відповідно до χ^2 статистики, найкращими розподілами є: Birnbaum-Saunders з параметрами: середнє 0,436249, масштаб 1,55318; Inverse Gaussian з параметрами: середнє 1,69932, масштаб 5,01589; Lognormal з параметрами: середнє 1,67396, стандартне відхилення 0,748137, лог. шкала: середнє 0,424138, лог. шкала: стандартне відхилення 0,426741.

Визначений розподіл відносного коефіцієнта аварійності (k_a) відповідає розподілу підсумкового коефіцієнта аварійності, який визначено за експрес-моделлю. А саме: Lognormal, Inverse Gaussian, Birnbaum-Saunders.

Логнормальне розподілення обрано за базове, яке надає опис випадкової величини (кількість ДТП), логарифм якої має нормальний закон розподілення та має щільність розподілення

$$F(x) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2} \cdot \frac{1}{x} \cdot e^{\left(\frac{b_1 x - a}{2\sigma^2}\right)^2}, \quad (8.5)$$

де x – кількість ДТП на ділянці дороги;

a, d – межі ділянки дороги ($a < x < b$);

σ – дисперсія закону розподілу, яка визначається як математичне очікування (M) квадрату випадкової величини

$$\sigma(x) = M(x^2) - (M(x))^2 . \quad (8.6)$$

Саме такий фізичний зміст мають параметри законів розподілення: математичне очікування виникнення ДТП визначає центр аварійності на ділянці, а дисперсія – розсіювання випадкової величини x на ділянці.

9 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕЛОСИПЕДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРЕХРЕСТЯ.

На початку двадцятого століття в усьому світі велосипедний транспорт подавав великі надії. Йому пророкували майбутнє головного транспортного засобу. І дійсно приблизно до 1940-х років відбувалося швидке зростання кількості велосипедів на вулицях Європи та США. У США ще в 1890 році почалося будівництво швидкісної магістралі для велосипедистів між Пасаденою та Лос-Анджелесем.

З розвитком автомобілебудування і зниженням ціни автомобілів, вони стали витісняти велосипедний транспорт. Звичайно, автомобіль комфортніше, а його використання не пов'язане з фізичними навантаженнями. Про екологічну сторону тоді ніхто не думав, а пробки на вулицях міст здавалися чимось фантастичним. Значне зростання рівня автомобілізації вже спричиняє просто катастрофічні наслідки для існуючих вулично-дорожніх систем міст, оскільки при надмірно високій щільності транспортних засобів швидкість руху знижується настільки, що автомобіль повністю втрачає одну з найважливіших своїх властивостей — динамічність.

На даний момент в Україні вступив в дію нормативний документ щодо планування та проектування велосипедної інфраструктури [91], а це призводить до того, що ініціатива розвитку велосипедної інфраструктури не залишається без уваги та реалізується.

Протягом останніх десятиліть у багатьох країнах динамічно розвивається велосипедний транспорт. Це особливо стосується європейських країн, які багато уваги приділяють забезпеченню сталості розвитку міст, у чому велосипедний транспорт відіграє важливу роль [92]. Велосипедний транспорт сприяє вирішенню низки проблем, що існують у сучасних містах, зокрема екологічних, а також містобудівних та транспортних, оскільки велосипеди займають набагато менше місця, ніж автомобілі (на автомобільні дороги, парковки і гаражі йде величезна

частка території міста), тобто відбулась би зміна завантаження міських вулиць та ефективніше використовувався міський простір; забруднення навколишнього середовища (велосипед не створює викидів в атмосферу в процесі його експлуатації, на відміну від неелектрифікованого моторизованого транспорту), у тому числі шумове. Крім того, велосипедний транспорт поліпшує здоров'я населення. Навіть тиха і спокійна їзда зі швидкістю 15-20 км/год позбавляє від 400-500 зайвих калорій за кожну годину на шляху, велосипедисти менше схильні до хвороб серцево-судинної системи і органів дихання, провідні австралійські університети від імені Міністерства охорони здоров'я Австралії озвучили цифру, зекономлених бюджетних грошей на охорону здоров'я в результаті активного використання громадянами країни велосипедів, сума заощаджених державних коштів склала 227,2 мільйонів доларів щорічно. Економія коштів також є однією з переваг велосипеда. Американський інститут економічних досліджень підрахував, що середньостатистичний власник автомобіля за весь період часу, коли він водить авто витрачає на нього 240704 - 349968 доларів. Використання велосипеда як особистого транспорту особливо актуально для поїздок на відстань до 5-10 км. При швидкості 15 км/год велосипедист долає 5 км шляху за 20 хвилин, що дозволяє доїхати до місця швидше, ніж на громадському транспорті, і дешевше. Проведені розрахунки показали, що експлуатація велосипеда обходиться близько однієї гривні на кілометр [93, 94].

Попри переваги велосипедного транспорту, велосипедисти належать до вразливих учасників дорожнього руху, тобто є такими, хто з більшою ймовірністю отримає серйозні травми чи загине у разі дорожньо-транспортної пригоди (ДТП), та такими, що не захищені корпусом транспортного засобу [95]. Таким чином, збільшення кількості користувачів та, відповідно, частки велосипедного транспорту в загальній сукупності транспортних кореспонденцій є актуальними задачами транспортного планування міст.

Проектування велосипедної мережі та елементів, що її формують, здійснюється під час розроблення проектів нового будівництва, реконструкції, капітального та поточного ремонту автомобільних доріг загального користування,

вулиць та доріг населених пунктів та велосипедних доріжок, прокладених незалежно від автомобільних доріг. Будівництво велосипедної мережі здійснюють улаштуванням окремих велосипедних доріжок та велосипедних доріжок на пішохідних частинах, організації велосипедних смуг. Облаштування велосипедної інфраструктури передбачає позначення велосипедних маршрутів, встановлення велопаркувальних стійок, організацію оренди велосипедів, створення консультаційних та інформаційних пунктів тощо.

Під час упровадження велосипедної інфраструктури чи її елементів необхідно здійснювати перевірку впливу різних заходів за такими напрямками: частка велосипедного руху; ефект від упровадження основних велосипедних сполучень; використання велосипедних парковок; сприйняття велосипедного транспорту; дієвість заходів з безпеки дорожнього руху.

Під час проектування велосипедної інфраструктури необхідно забезпечувати об'єктивну та суб'єктивну безпеку руху велосипедистів та інших учасників дорожнього руху, вимоги до зручності руху велосипедистів (урахування швидкості руху, мінімізація зусиль, що прикладаються велосипедистом, мінімізація затрат часу тощо), а також відповідність властивостей елементів велосипедної інфраструктури вимогам нормативних документів протягом міжремонтних строків експлуатації.

Рекомендації, що висуваються під час проектування велосипедної інфраструктури, наведено у табл. 9.1.

На нерегульованих перехрестях без позначеного пріоритету рекомендовано передбачати рух велосипедистів по проїзній частині спільно з автомобілями. На нерегульованих перехрестях з позначеним пріоритетом у першу чергу необхідно передбачати заходи для убезпечення руху велосипедистів, які рухаються прямо та ліворуч відповідно до табл. 9.2.

На регульованих перехрестях у першу чергу необхідно передбачати заходи для забезпечення безпеки руху велосипедистів, які рухаються прямо та ліворуч відповідно до табл. 9.3.

Таблиця 9.1 – Рекомендації, які висувають під час проектування велосипедної інфраструктури

Вимога	Спосіб забезпечення або досягнення
Безпека руху велосипедного транспорту	
Об'єктивна безпека руху	Вибір форм руху з високим рівнем їхнього сприйняття та низьким ризиком виникнення ДТП
	Забезпечення нормативних умов видимості (поля зору учасників руху), розпізнавання будівель та споруд і штучного освітлення
	Технічні рішення з незначним ризиком падіння та загрози (достатньо жорстка поверхня, уникання канавок і кантів, запобіжні пристрої проти падіння тощо)
	Урахування передумов для якісного утримання та експлуатації
Суб'єктивна безпека руху	Уникнення ситуацій, у яких користувачі відчують загрозу
	Вибір форм руху з незначною залежністю від поведінки інших учасників дорожнього руху
Якість руху велосипедного транспорту	
Врахування різних швидкостей	Можливість обгону
	Зменшення кількості перешкод, що впливають на швидкість руху
Мінімізація витрати сил	Поверхні з низьким опором коченню
	Мінімізація об'їздів
	Мінімізація підйомів, яких можна уникнути
	Мінімізація кількості зупинок (наприклад, з використанням координованого світлофорного регулювання)
Мінімізація втрат часу	Оптимізоване облаштування перехресть і місць перетину проїзної частини велосипедистами
	Оптимізоване світлофорне регулювання
	Можливість руху в усіх напрямках на перехрестях

Таблиця 9.2 – Елементи планування руху велосипедистів на нерегульованих перехрестях

Дорога, по якій велосипедист наближається до перехрестя	Рух прямо	Рух ліворуч
Головна	– уздовж головної дороги велосипедні смуги продовжувати, позначаючи їх розміткою 1.7; – нанести рекомендовані велосипедні коридори на з'їздах з головної дороги на другорядну; – перевести велосипедні доріжки в рекомендовані велосипедні коридори або велосипедні смуги; – підвести велосипедні доріжки на відстань не більше ніж 0,75 м до проїзної частини та забезпечити постійне перебування велосипедистів у зоні видимості водіїв або влаштовувати велосипедні переїзди через другорядну дорогу на відстані не менше ніж 5 м від краю правої смуги руху головної дороги; – за наявності велосипедних та велосипедно-пішохідних доріжок позначити велосипедний переїзд, а по можливості влаштувати підвищений велосипедний переїзд поруч з підвищеним пішохідним	– простір очікування для поворотів ліворуч у два прийоми; – велосипедна смуга для повороту ліворуч; – (розділені) центральні островці як місця очікування для велосипедного транспорту, що повертає ліворуч
Другорядна	– зазвичай змішаний рух по проїзній частині з поворотом ліворуч в один прийом; – центральна розділювальна смуга (розділювальні островці чи островці безпеки) як допоміжний чинник під час перетину головної дороги.	

Для оцінки впливу елементів велосипедної інфраструктури на ефективність функціонування перехрестя було розроблено імітаційну модель руху транспортних, яка дозволить визначити параметри руху ТЗ на цьому перехресті. Для розробки імітаційної моделі руху транспорту обрано програмний продукт VISSIM. Вхідними параметрами імітаційної моделі в VISSIM є [96] довжина ділянок вулично-дорожньої мережі, м., ширина проїжджої частини, м., кількість смуг руху на ділянках вулично-дорожньої мережі, од., інтенсивність транспортного потоку на вході ділянок вулично-дорожньої мережі, авт./год., склад транспортного потоку, наявність зупинок громадського транспорту, параметри світлофорного об'єкту (розміщення світлофорів, тривалість циклу і основного такту регулювання в даному напрямку).

Таблиця 9.3 – Основні заходи під час проектування велосипедної інфраструктури на регульованих перехрестях

Дорога, по якій велосипедист наближається до перехрестя	Рух прямо	Рух ліворуч
Головні дороги, з більшою тривалістю дозвільного сигналу	– рекомендовані велосипедні коридори, велосипедні смуги або велосипедні доріжки для проїзду повз автомобілі, які зупинилися на заборонний сигнал світлофора; – продовження рекомендованого велосипедного коридору в межах перехрестя; – уздовж головної дороги велосипедні смуги продовжувати, позначаючи їх розміткою 1.7; – винесені вперед стоп-лінії для велосипедистів; – відмова від окремої автомобільної смуги для повороту праворуч; – вмикання дозвільного сигналу для велосипедистів раніше, ніж для автомобілів; – нанесення розмітки на велосипедних переїздах; – використання світлофорів типу 7 для водіїв, які повертають за наявності зміщеного велосипедного переїзду або двобічного велосипедного руху	– зона очікування для поворотів у два прийоми; – велосипедна смуга для повороту ліворуч; – рекомендований велосипедний коридор на автомобільній смузі для лівого повороту; – додаткове місце для зупинки велосипедів на світлофорі
Другорядні дороги або смуги для повороту з меншою тривалістю дозвільного сигналу	– зазвичай, поворот ліворуч в один прийом; – рекомендовані велосипедні коридори, велосипедні смуги або велосипедні доріжки для проїзду повз автомобілі, які зупинилися на заборонний сигнал світлофора; – розширені велосипедні смуги для очікування.	

Послідовність побудови імітаційної моделі руху транспорту з використанням програмного продукту PTV VISSIM складається з етапів, що представлені в табл. 9.4.

Результатом роботи імітаційної моделі є анімація руху транспортних засобів у вигляді відео в режимі реального часу і подальша видача транспортно-технічних параметрів, таких як, наприклад, розподіл часу в дорозі, часові затримки ТЗ, довжина затору, час простою, емісія CO , емісія NO_x , емісія летючих органічних

сполук, витрати палива, диференційованих за групами користувачів.

Таблиця 9.4 – Загальний план побудови імітаційної моделі в VISSIM

Номер етапу	Назва етапу	Вид робіт
I	Побудова дорожньої мережі	Зображення відрізків доріг Зображення поворотів Організація зустрічного руху Створення смуг розгону і гальмування Нанесення дорожньої розмітки
II	Введення транспортного потоку	Завдання інтенсивності потоку Визначення складу транспортних засобів Завдання маршрутів транспортних засобів Введення правил пріоритету в конфліктних зонах
III	Додавання світлофорних об'єктів	Створення сигнального пристрою Створення сигнальних груп Створення сигнальних програм Встановлення сигнальних пристроїв на дорозі Візуалізація світлофорних об'єктів
IV	Моделювання руху пішоходів	Створення пішохідного потоку Визначення щільності і складу потоку Завдання маршрутів руху пішохідних потоків Розбір конфліктних зон Створення та встановлення світлофорних об'єктів
V	Моделювання руху громадського транспорту	Створення зупинок Завдання маршрутів громадського транспорту з зазначенням зупинок і розкладу
VI	Додавання парковок та автостоянок	—
VII	Додавання фону та статичних 3D елементів	—
VIII	Аналіз роботи імітаційної моделі за обраними критеріями	—

Моделювання руху ТЗ на перехресті з урахуванням руху велосипедистів з використанням програмного продукту VISSIM проводилось за методикою, що наведена вище. Формування імітаційної моделі руху транспорту з використанням програмного продукту VISSIM полягає у послідовному моделюванні елементів перехрестя, технічних засобів регулювання дорожнього руху, які є на перехресті, транспортних і пішохідних потоків і формуванні, в кінцевому варіанті, моделі імітації руху транспорту в 2D та 3D режимі.

Після можна запускати імітацію руху ТЗ на перехресті та перегоні в режимі 2D та 3D (див. рис. 9.1 – 9.2).

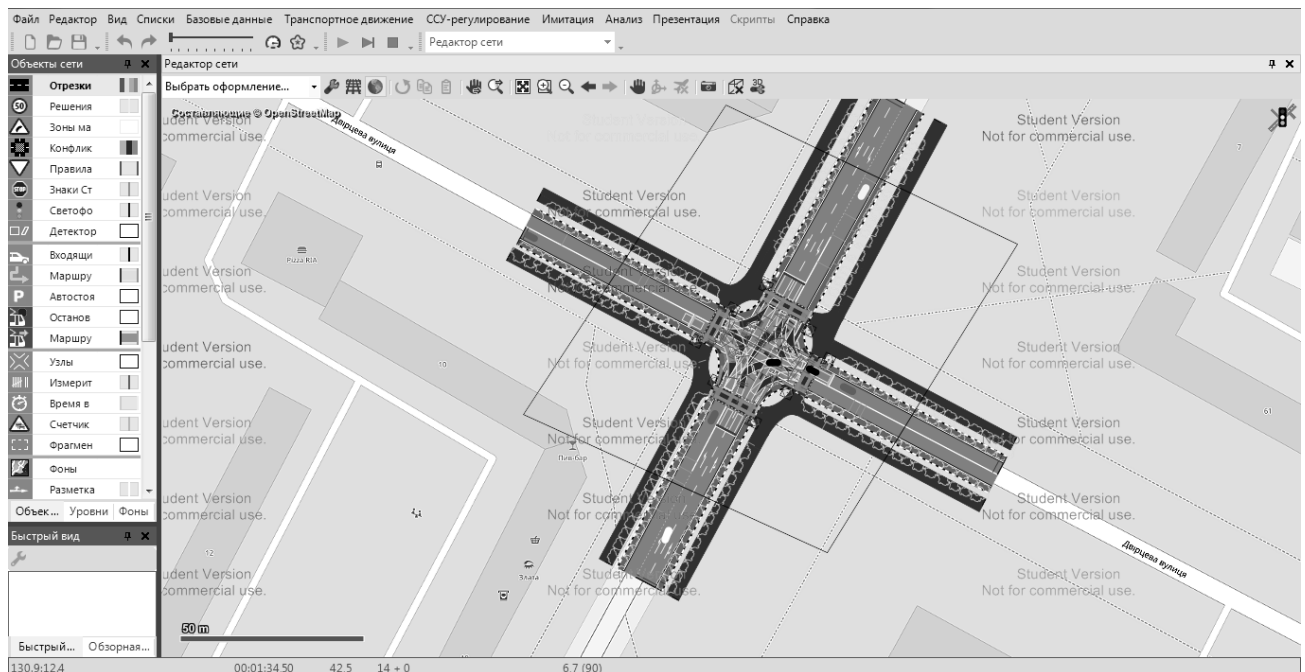


Рисунок 9.1 – Імітація руху транспорту в режимі 2D на перехресті

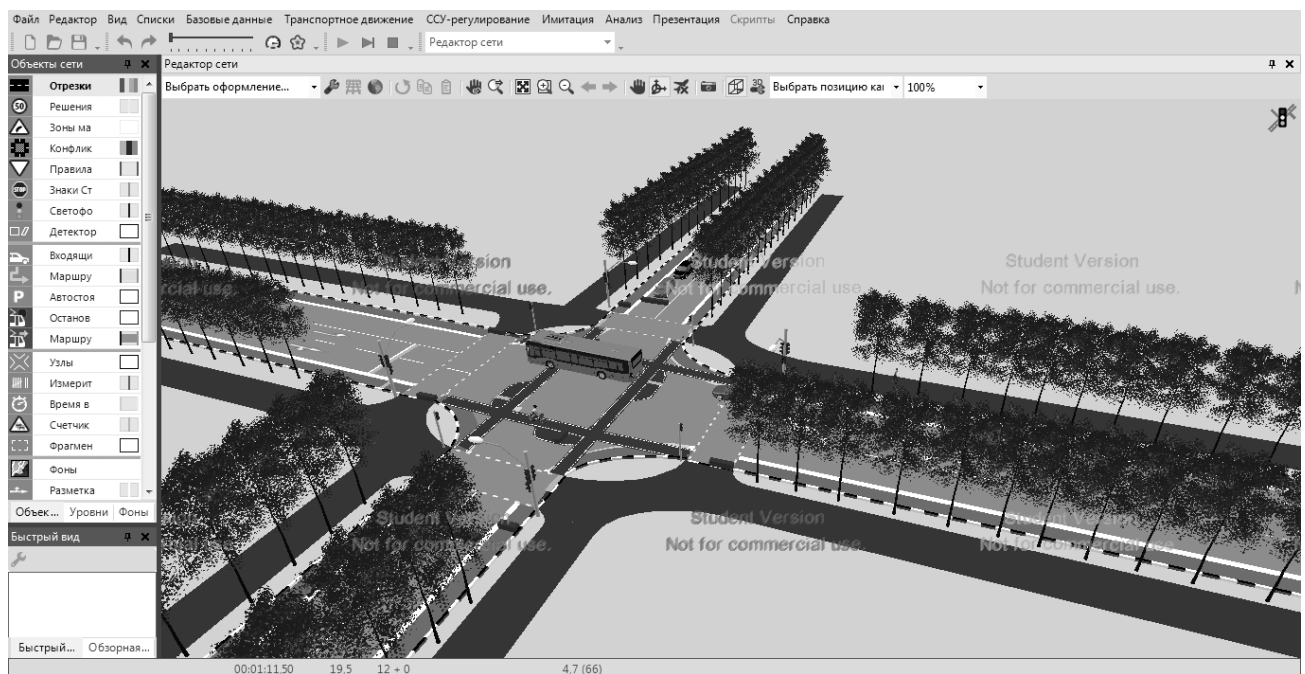


Рисунок 9.2 – Імітація руху транспорту в режимі 3D на перехресті

Після розробки моделі транспортного руху в VISSIM можна отримати ряд даних для аналізу виконаної роботи. Тобто можна не тільки візуально оцінити

результати проекту, але й отримати звіти, що дозволяють робити обґрунтовані висновки.

Основним результатом роботи імітаційних моделей на даному етапі дослідження є визначення показників ефективності руху ТЗ для існуючого варіанту організації дорожнього руху на елементі ВДМ та для запропонованого варіанту організації дорожнього руху. Результати оцінки ефективності поточного варіанту організації дорожнього руху та з урахуванням велосипедної інфраструктури з використанням програмного продукту VISSIM представлені в табл. 9.5 та на рис. 9.3.

Таблиця 9.5 – Результати оцінювання ефективності організації руху транспорту на перехресті

Варіант схеми	Часові затримки ТЗ, с	Емісія CO, г	Емісія NOx, г	Емісія ЛОС, г	Витрати палива, л
Схема ОДР на перехресті без велосипедистів	13,149	133,314	25,938	30,897	1,907
Схема ОДР на перехресті з велосипедистами	13,558	142,090	27,646	32,931	2,033
Різниця	0,409	8,776	1,707	2,034	0,126

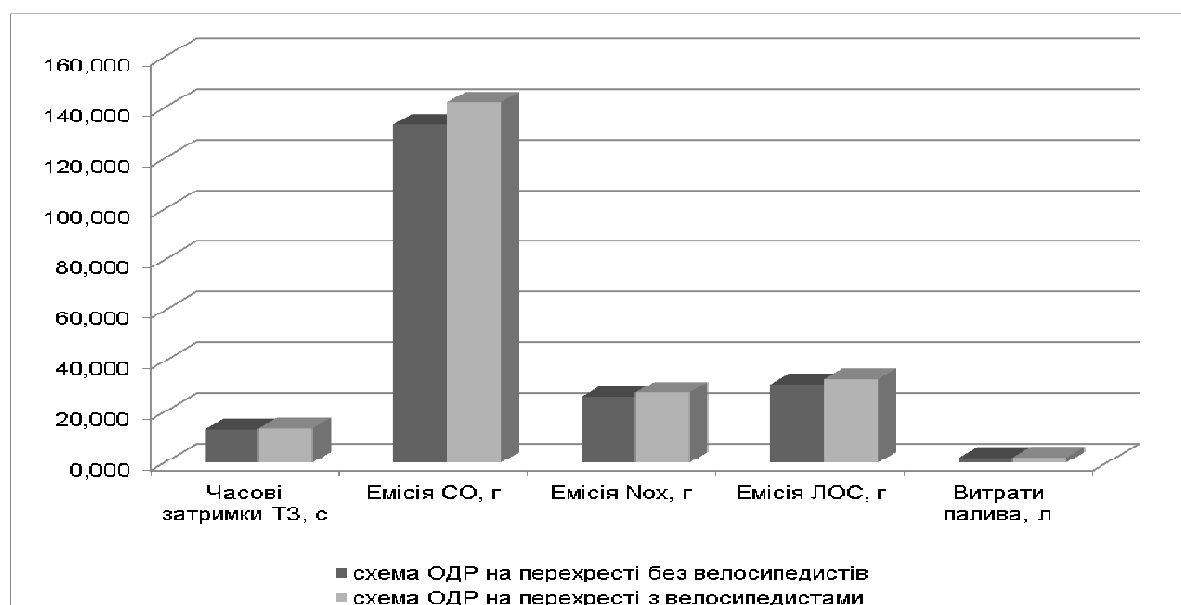


Рисунок 9.3 – Гістограма порівняння різних варіантів схем на перехресті

Використання розроблених з використанням програмного продукту VISSIM імітаційних моделей перехрестя дозволило провести порівняльну оцінку ефективності існуючого варіанту організації руху транспорту на елементах ВДМ з пропонованим. За результатами 10-ти хвилинної імітації встановлено, що середні часові затримки ТЗ збільшились на 3 %, загальні витрати палива збільшились на 7 %, загальна емісія CO , NO_x та летючих органічних сполук збільшились на 6 %.

10 "РОЗУМНІ" ДОРОГИ — АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ МАЙБУТНЬОГО ТА ЇХ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Сучасна транспортна інфраструктура автомобільного транспорту у містах характеризується значними темпами зростання інтенсивності транспортних потоків (ТП), що веде до збільшення рівня завантаженості вулиць і доріг автомобілями. Крім того, вулично-дорожня мережа (ВДМ) у великих містах є складним об'єктом, що потребує постійної уваги та оперативного спостереження та управління. Потреба в управлінні транспортними системами призвела до створення автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР), подальшим розвитком яких є інтелектуальні транспортні системи (ІТС) або «розумні дороги» [97-100]. Актуальність впровадження «розумних доріг» можна обґрунтувати тим, що вони допоможуть зменшити транспортні затори у містах, поліпшити безпеку дорожнього руху, підвищити комфортність роботи водіїв, зменшити витрати транспортного часу так непрямым чином поліпшити екологічну ситуацію у регіоні, де впровадять «розумні дороги» [101, 102].

«Розумна дорога» чи ІТС являє собою комплексну систему, яка оперує елементами системи «Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище» (ВАДС), постійно вимірює значення певних параметрів ВАДС та самостійно виробляє керівні заходи для поточного управління ВАДС [103]. Наприклад, виконує аналіз погодних умов: температурного режиму, кількості опадів, тощо. ІТС є телематичною системою, тобто в ній постійно проходять процеси віддаленої передачі технічної сервісної інформації між «аналітичним центром» та окремими підсистемами, наприклад, окремими світлофорними об'єктами на перехрестях. Автомобільна дорога або вулично-дорожня мережа є складною системою, оскільки складається із підсистем різного призначення (в аспекті управління системою). Якщо провести системний аналіз транспортної системи «ВДМ плюс ТП», то можна виділити три рівня взаємодії елементів системи [104, 105]:

- рівень керування, на якому створюються рішення та заходи з управління всією системою;
- рівень виконання рішень, на якому відповідно до заданих алгоритмів відбуваються конкретні заходи з організації та керування дорожнім рухом та втілюються прийняті рішення;
- енергетичний рівень, на якому забезпечується безперебійне електричне живлення ІТС.

З технічного погляду «розумна дорога» як власне дорога, складається з трьох шарів [106-108]. Верхній шар (дорожнє покриття) забезпечує механічну стійкість дороги, її здатність «терпіти» вплив зовнішнього середовища та транспортних засобів, які нею проїжджають. Крім того, у верхній шар вмонтовані фотоелектричні панелі для перетворення сонячного світла у електричний струм для живлення електромереж ІТС. Середній шар містить «розумну електроніку», яка забезпечує рівень керування ІТС. Цей шар має бути захищений як від механічних впливів, так і від проникнення вологи, від впливів хімічних речовин навколишнього ґрунту, коренів рослин чи підземних комах. Нижній шар є «енерготранзитним». Він містить силові електричні кабелі, якими електроенергія передається на інші ділянки «розумної дороги» або окремі її елементи.

Інфраструктура ІТС не обмежується власне самою «розумною дорогою», а включає в себе також інші технічні засоби. Оскільки ефективне управління будь-якою системою неможливе без контурів зворотного зв'язку, то в ІТС засобами зворотного зв'язку є детектори транспорту. Детекторів транспорту існує декілька типів. Починаючи від найпростіших електромеханічних та фотоелектричних до ультразвукових, індукційних та інших. На сьогодні оптимальним варіантом детектору транспорту вважається «розумна» відеокамера. Це цифрова камера відеоспостереження, розміщена над дорогою, перехрестям, залізничним переїздом або іншим «складним» об'єктом вулично-дорожньої мережі. Камера має вбудований модуль відеопроцесора, який виконує програмні алгоритми розпізнавання зорових образів, зокрема, транспортних засобів. Відеопроцесор «розпізнає» окремі транспортні засоби у потоці, визначає їх габарити, швидкість руху, номерні знаки,

розташування на дорозі, тощо. На геометрично складних об'єктах, зокрема, перехрестях встановлюють декілька камер, що спостерігають за різними напрямками або смугами руху. На пішохідних переходах, залізничних переїздах та контрольно-пропускних пунктах може використовуватися менша (одна-дві) кількість камер. Камери мають «антивандальний» залізний кожух та розраховані на «вуличне» використання. Кожна камера має зв'язок із центральним сервером, розташованим у диспетчерському пункті. Зазвичай зв'язок організовано за допомогою Internet із використанням оптоволоконних мереж або за відсутності технічної можливості прокладання кабелів використовують мережі мобільного радіозв'язку місцевих операторів.

Окрім відеокамер сучасні ІТС можуть використовувати агреговану інформацію від окремих учасників дорожнього руху, а саме від їхніх мобільних телефонів або бортових навігаційних систем у транспортних засобах. Зв'язок із ними організовано через мережі мобільного радіозв'язку.

На основі отриманої інформації диспетчер центру управління дорожнім рухом може змінити режим (циклограму) роботи світлофора, вивести інформацію на текстові інформаційні табло, зробити розсилку повідомлень на мобільні телефони учасників дорожнього руху у заданому районі міста.

Для доріг за межами населених пунктів важливою для водіїв інформацією є зведення про метеорологічні умови та стан дорожнього покриття. Для моніторингу погодних умов до ІТС додаються місцеві компактні метеостанції, що мають у собі датчики температури, швидкості та напрямку вітру, вологості повітря. Цю інформацію можна передавати у диспетчерський центр АСУДР, виводити на інформаційні табло на дорогах та на мобільні телефони учасників дорожнього руху, які оформили підписку на цей інформаційний сервіс.

Енергетична автономність інфраструктури в першу чергу забезпечується шляхом використання сонячної енергії. Найпростішим способом використання сонячної енергії на даний момент вважається нанесення на дорожнє полотно фотолюмінісцентних фарб. У денний час фарба поглинає світлову енергію, щоби вночі поширювати розсіяне світло в навколишнє середовище. При використанні

якісних акумуляторів заряду енергії, вистачає більш ніж на 10 годин, чого зазвичай достатньо, щоб дати водіям необхідне освітлення в темний час доби.

Іншим прикладом використання лакофарбових матеріалів є проект «Dynamic Paint» [109]. Коли температура повітря опускається нижче 0 С на поверхні дорожнього покриття з'являються зображення сніжинок, намальовані спеціальною фарбою, чутливої до температури (див. рис. 10.1).



Рисунок 10.1 – Використання «Dynamic Paint» для попередження водіїв про ожеледицю

Ці зображення попереджують водія про ожеледицю на дорозі. Такі малюнки допомагає нагадати учасникам дорожнього руху про небезпеку перевищення швидкісного режиму, і як наслідок збільшує безпеку.

Також може бути доречним варіант використання «розумних» лакофарбових матеріалів при створенні дорожньої розмітки. Річ у тому, що розмітка, яка розділяє смуги руху, зміщується при зміні температурного режиму (зима-літо) через особливості прояву фарб при зміні температури вище чи нижче нуля. В результаті відбувається зміщення смуг накату. При реконструкції дороги можна буде врахувати ці особливості, зробивши «низькотемпературну» ділянку дороги більш пластичною, ніж «високотемпературну». Це можна зробити шляхом додавання

більшої кількості бітуму при будівництві «зимового» ділянки, що призведе до зменшення ефектів колійності і поперечної «хвилястості» дорожнього покриття влітку та утворення тріщин та руйнування дорожнього покриття взимку.

Можна поставити завдання для фахівців з матеріалознавства, хімії та ін. Про створення добавок до асфальтобетонних сумішей, що надають дорожньому покриттю аномальну залежність в'язкості від температури. Тобто, щоб в'язкість покриття зменшувалася зі зменшенням температури, а не навпаки, як відбувається при «нормальною» залежності в'язкості від температури. У цьому випадку також була б можливою зменшення ефектів, описаних в попередньому абзаці.

Автомобільні дороги займають величезну площу території. Якщо розмістити сонячні фотоелементи на дорогах, то це дозволить відмовитися від зовнішнього живлення електроенергією дорожньої інфраструктури. Надлишок електроенергії, одержуваної від доріг, можна використовувати і в інших галузях народного господарства, що дозволить знизити тиск на екологію шляхом часткової чи повної відмови від інших способів отримання електроенергії (теплові, атомні та інші електростанції).

Дорога, перекрита такими плитами, підігрівається, знижуючи ймовірність обмерзання проїзної частини в зимовий період, підсвічується в нічний час, виводить як на екран інформацію про дорожню обстановку. Розробники пропонують також додатково розмістити в «сонячному» покритті автодороги різні комунікації: наприклад, електричні мережі, зв'язок, кабельне телебачення, високошвидкісний інтернет. Це дозволить відмовитися від стовпів і проводів, розташованих уздовж автомобільних доріг.

Також до незаперечних плюсів сонячних панелей можна віднести той факт, що вони в три рази довговічніше асфальту і витримують навантаження, рівну тиску коліс 40 тонної вантажівки [109]. Варто також відзначити легкість в ремонті: якщо якась із панелей зламається, то не потрібно демонтувати всю ділянку дороги, а тільки несправний елемент.

Інший спосіб використання сонячної енергії пропонує нідерландський холдинг компаній «Ooms Avenhorn Holding», «TipSpit» та «WTH Vloerverwarming»,

які спільно розробили систему «Дорожня енергія» [109]. Ця система складається з шару асфальтобетону, нанесеного на тверду основу водопровідних трубок всередині дорожнього покриття (див. рис. 10.2). Темний колір асфальтобетону дозволяє йому добре нагріватися під дією сонячної радіації. Всередині циркулює рідина, яка буде охолоджувати асфальт влітку та нагрівати його взимку. Асфальтобетонне дорожнє покриття працює як приймач сонячної енергії, а рідина, що накопичується в резервуарі, грає роль накопичувача теплової енергії.

Підтримка температурного режиму є важливим фактором у забезпеченні оптимальної експлуатаційної здатності дорожнього полотна [109]. Взимку система забезпечує нагрівання дорожнього полотна вище точки замерзання води, що запобігає утворенню ожеледиці (це підвищує безпеку дорожнього руху, зменшує витрати на очищення дороги від ожеледиці, поліпшує екологічну безпеку) [109]. Після дощу система підігріває дорогу, що зменшує час її висихання та відповідно підвищує безпеку руху, бо зменшує довжину гальмівного шляху.

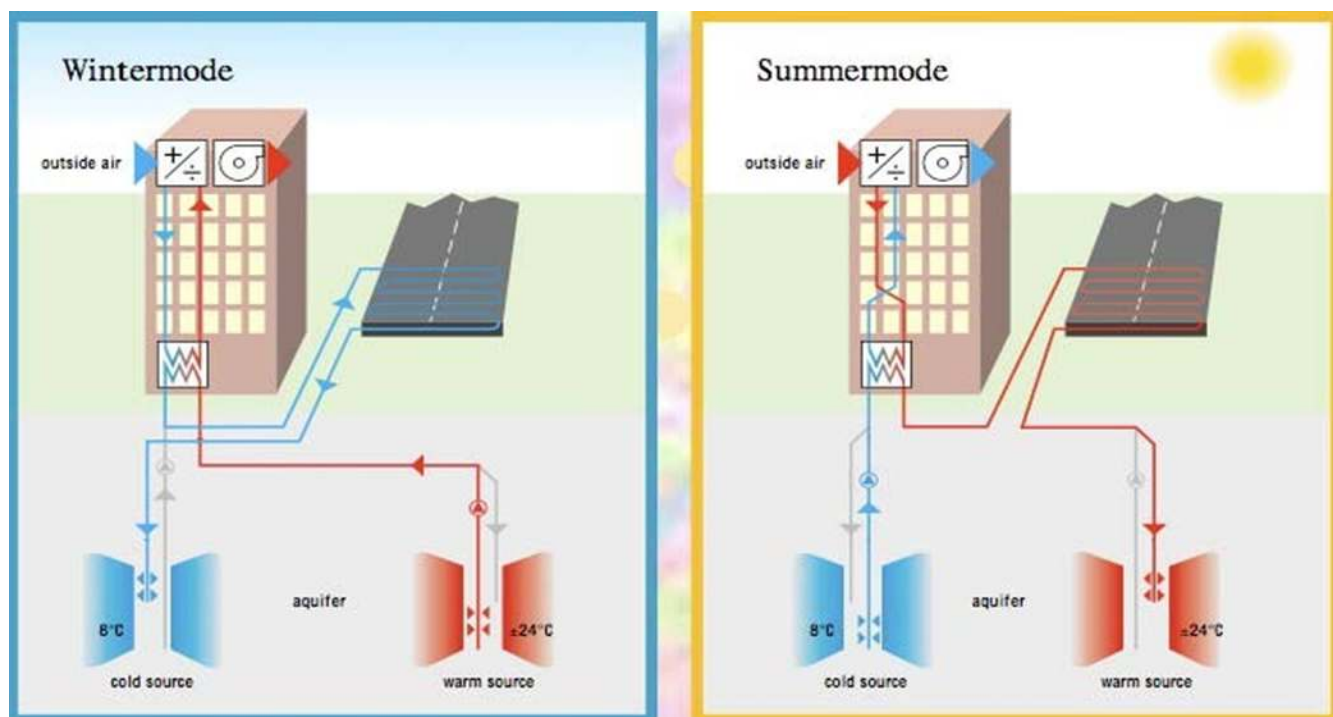


Рисунок 10.2 – Схема системи підігріву та охолодження дорожнього полотна «Дорожня енергія»

Влітку система проганяє охолоджену воду та охолоджує дорожнє полотно з метою запобігання його розм'якшення, що перешкоджає деформації полотна під час руху вантажних автомобілів та збільшує строк служби дороги.

У зимовий період відмова від підсипання солі на дорожнє покриття продовжить життя транспортних засобів та усуне шкідливий вплив на екологію. Крім того, тому що коливання температури дорожнього покриття будуть менше, то зменшиться число пошкоджень, викликаних циклами замерзання-відтаювання (наприклад, води, що знаходиться в порах покриття). В результаті матимемо збільшення життєвого циклу дорожнього покриття (міжремонтних термінів).

Дуже важливе зауваження вказується в статті [105]. Лише комплексне застосування даних технологій здатне по-справжньому значно підняти рівень експлуатації доріг. Часткове вирішення проблем, «забивання ям і дірок» лише призведе до негативної оцінки даних заходів з боку водіїв, що згодом призведе до додаткових труднощів при повсюдному впровадженні даних технологій.

В ідеалі всі компоненти «розумної дороги» мають об'єднуватися на базі єдиної програмно-апаратної платформи. Однак навіть поодиноці вони дозволяють вирішити велику кількість локальних задач. Наприклад, якщо сигнали світлофорів на перехрестях змінюються відповідно до поточної дорожньо-транспортної ситуації, то це підвищує пропускну здатність доріг і значно скорочує вірогідність виникнення заторів. Автоматична фіксація порушень Правил дорожнього руху змушує водіїв бути більш відповідальними і акуратними, що значно знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Інтелектуальне управління вуличним освітленням дозволяє економити електроенергію.

За даними Research and Markets, ринок рішень для побудови Розумних доріг досягне до 2022 року позначки в 2,6 млрд дол. з показником CAGR близько 24 %. Основним драйвером ринку стануть рішення, спрямовані на забезпечення безпеки дорожнього руху. Уряди багатьох країн серйозно стурбовані зростанням кількості дорожньо-транспортних пригод, а інформаційні технології дозволяють ефективно вирішити дану проблему.

Наймасовішим сегментом ринку Розумних доріг є детектори транспортних потоків. Аналітики Research and Markets припускають, що протягом 2016-2022 року ці датчики продовжать займати лідируючі позиції на ринку за рахунок збільшення обсягів інвестицій і появи великої кількості профільних стартапів.

11 АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ ЯК АТРИБУТ СУЧАСНОЇ ОСВІТИ

Останнім часом друкується багато наукових статей щодо загальної кризи суспільства, корупції, численних порушень законодавства й етичних норм. Разом з цим посилюється дискусія щодо академічної доброчесності, тобто, морального кодексу та етичних правил цивілізованого наукового та освітнього співтовариства. На думку В. Садика, доброчесність в сучасному цивілізованому світі є тим наріжним каменем, який складає фундамент внутрішньої гармонії людини, стійкість її характеру та послідовність морального образу [110-112].

Суттєвим внеском до створення законодавчих основ забезпечення академічної доброчесності став Закон України «Про освіту», а саме стаття 42 «Академічна доброчесність», відповідно якої «академічна доброчесність — це сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень [110]. Дотримання академічної доброчесності здобувачами освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей), а також посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей; дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права; надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації» [111].

Але недосконалість ст. 42 цього Закону спричинила посилення дискусій з питань щодо академічного плагіату, самоплагіату, помилки цитування й ін. З цього приводу В. Садик вважає, що академічна доброчесність на сьогодні в Україні сприймається переважно як деяка міфічна концепція, про яку нині дуже модно говорити, а не як дієвий інструмент забезпечення якості вищої освіти. Тобто,

університетська освіта без дотримання етичних принципів та визначених законом правил залишатиметься не більше, як «напівдиким освітнім полем», де панують невігластво, обман, корупція [112].

Слід відзначити, що для забезпечення академічної доброчесності заклади вищої освіти можуть створювати різні органи академічної відповідальності для розгляду ймовірних порушень академічної доброчесності. При розробці внутрішніх документів варто враховувати аналогічні процедури і рекомендації провідних європейських та північноамериканських університетів. Надамо наступні приклади.

Згідно документу "Фундаментальні цінності академічної доброчесності" (Університет Клемсон в Південній Кароліні, Fishman 2012), «Академічна доброчесність — це відданість академічної спільноти, навіть перед лицем труднощів, шести фундаментальним цінностям. Чесність — пошук істини й знання через інтелектуальну та особисту чесність у процесі навчання, викладання, наукових досліджень і надання сервісів по дорученню адміністрації. Довіра — клімат взаємної довіри, який заохочує і підтримує вільний обмін ідеями, що у свою чергу дає можливість науковим пошукам реалізуватися найповнішою мірою. Справедливість — встановлення чітких та прозорих очікувань, стандарти й практики для підтримання справедливості у стосунках між студентами, викладачами та адміністративним персоналом. Повага — цінування інтерактивної та кооперативної природи навчання і пізнання, розмаїття думок та ідей. Відповідальність — готовність окремих осіб і груп подавати приклад відповідальної поведінки, а також вживання належних заходів у випадку їхнього недотримання. Мужність — трансформація цінностей від розмов про них до відповідних дій, їх відстоювання в умовах тиску і труднощів потребує рішучості, цілеспрямованості і мужності» [113].

Згідно Кодексу честі Стенфордського університету індивідуальна й колективна відповідальність студентів щодо дотримання Кодексу честі була нав'язана студентам не адміністрацією або викладачами, а була прийнята студентами за їх власним бажанням. Зокрема, без відповідальності студентів Кодекс честі не може бути ефективно підтриманий. При цьому основна відповідальність,

яку несуть студенти, полягає в тому, щоб не допускати порушення Кодексу честі іншими [114].

Слід зазначити і Політику академічної доброчесності Гарвардського університету, яка прагне підтримувати навчальну і робочу середу, що характеризується академічною чесністю і справедливим доступом до освітніх ресурсів [113].

Рада Честі Джорджтаунського Університету розробила текст «Системи честі», брошуру, яка публікується щороку і поширюється серед усіх викладачів і технічних консультантів. Згідно Стандартів поведінки – заборонено поведінку учнів, яка є академічно нечесною, свідчить про відсутність академічної чесності або достовірності, або несправедливо утискає інтелектуальні права і привілеї інших осіб. При цьому невичерпний список заборонених дій включає в себе: обман на іспитах, плагіат, використання неправдивих цитат, відправка помилкових даних, зловживання загальними електронними носіями й ін. [113].

Підбиваючи підсумки, можна зазначити, що подолання кризи академічної доброчесності потребує встановлення чітких процедур та критеріїв ідентифікації порушень доброчесності не тільки Законами України, але і нормативними документами закладів вищої освіти.

12 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТЕЙ ВІЛЬНОГО РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА ДІЛЯНКАХ ВДМ МІСТА

12.1 Аналіз проблеми визначення розподілу швидкостей руху транспортних засобів

На даний час загально визнаним є твердження про те, що швидкість руху поодинокого автомобіля на ділянці дороги є випадковою величиною, що обирається безпосередньо водієм та реалізується як результат психофізіологічного процесу, в основі якого знаходять відображення цілепокладання, мотивації, усвідомлення та сприйняття сукупності дорожніх умов та обставин навколишнього середовища [115-117]. Однак, суб'єктивний по суті процес вибору швидкості руху водієм виявляє певні закономірності, оскільки в основі лежить прагнення водія до оптимізації режиму руху на основі двох головних критеріїв — зменшення часу поїздки та забезпечення безпечних та комфортних умов під час руху. При цьому співвідношення вагомості кожного критерію та кінцевий результат у вигляді обраного швидкісного режиму визначатиметься кваліфікацією водія, цілями поїздки, його текучим психічним станом та іншими факторами [118-122].

В цілому можна виділити три групи чинників, які мають найбільший вплив на вибір водієм швидкості руху (див. рис. 12.1).

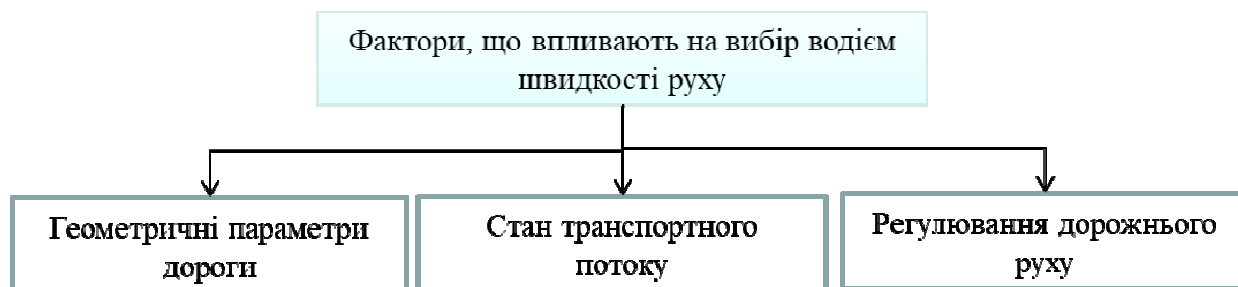


Рисунок 12.1 – Групування факторів, що впливають на швидкість вільного руху

Швидкістю вільного руху на ділянці дороги вважається швидкість, яку водій вибирає в умовах малого ступеня завантаження дороги, коли взаємодія між транспортними засобами і вплив технічних засобів управління рухом мінімально. На автомагістралях з переривчастим рухом, тобто на автомагістралях з перехрестями та з'їздами до придорожніх ділянок, середня швидкість вільного руху залежить від ряду геометричних, транспортних і сигнальних факторів. Аналіз літературних джерел показує, що основними геометричними параметрами, що впливають на вибір швидкості водієм, є переважаючий тип ділянки дороги, тип бордюру (піднесений або пригнічений), наявність точок доступу (виїздів) на магістраль, кількість смуг руху, ширина смуги руху і довжина ділянки [121-124]. Основними факторами дорожнього руху, що впливають на вибір швидкості водієм, є обмеження швидкості, склад транспортного потоку. Фактори регулювання руху, які впливають на вибір швидкості водієм на магістралях регульованого руху, включають відстань між перехрестями, тип руху і параметри синхронізації світлофорів, такі як ефективний час виходу на зелене світло і тривалість циклу. Крім того, було виявлено, що наявність контролю швидкості і рівень правової обізнаності водія також впливають на вибір водіями швидкості руху [125, 126].

Швидкість вільного руху необхідно визначати правильно, оскільки вона відіграє важливу роль в плануванні, оперативному аналізі та оцінці продуктивності транспортних систем. Фахівці з планування транспорту, що займаються плануванням систем і оцінкою ефективності організації дорожнього руху, використовують швидкість вільного руху в якості вхідних даних для прогнозування поїздок, оцінки якості повітря і визначення індексів завантаженості дороги [127]. Інженери по дорожньому руху використовують швидкість вільного руху для оцінки пропускної здатності дороги і рівня обслуговування, моделювання дорожнього руху, а також для досліджень витрати палива і викидів в атмосферу.

Через важливості даного параметру в аналізі транспортних потоків, точне визначення швидкості вільного руху в реальних умовах має першорядне значення. Однак, визначення швидкості вільного руху в реальних умовах для використання в аналізі є ресурсномістким, оскільки вимагає вимірювання достатнього розміру

вибірки швидкостей транспортних засобів у відповідний час, коли інтенсивність потоку є мінімальною, і в відповідних місцях з однорідними геометричними характеристиками, характеристиками руху і регулювання. Щоб подолати проблеми збору експериментальних даних, багато спеціалістів використовують методи моделювання для прогнозування швидкості вільного руху.

В більшості випадків при дослідженні розподілу швидкостей вільного руху транспортних засобів автори зазначають, що емпіричний розподіл випадкової величини є наближеним до нормального закону. Саме нормальний закон найчастіше використовується для апроксимації експериментальної вибірки швидкостей руху, лише в окремих випадках використовуються більш складні розподіли з трьома або більше параметрами. В роботі [128] автори вказують на недоцільність використання для описання розподілу швидкостей руху автомобілів багатопараметричних моделей через низьку кореляцію параметрів розподілу з дорожніми факторами.

В цілому можна констатувати, що дослідження закону розподілу швидкостей вільного руху транспортних засобів на ділянках ВДМ міст залишається актуальним напрямком наукових досліджень.

12.2 Аналіз методів експериментальних досліджень розподілу фактичних швидкостей ТЗ

При вирішенні завдань організації дорожнього руху широко використовують закони розподілу параметрів транспортних потоків, зокрема швидкостей руху. Фактичні дані про розподіли швидкостей на магістралі можна отримати лише експериментальним шляхом.

Для вимірювання швидкостей ТЗ зазвичай застосовують радари. Вони дозволяють заміряти швидкість одиночного автомобіля та автомобіля, що рухається в групі. Похибка вимірювання швидкості радаром не перевищує 1 км/год. Швидкість можна вимірювати на відстані до 300 м. Найменше значення швидкості зазвичай обмежена величиною 20 км/год, найбільше значення становить 200 км/год.

При вимірюванні використовують метод стаціонарних спостережень. Цим методом також користуються при вимірюванні просторових і часових інтервалів між автомобілями. Можна визначити основні етапи проведення експериментальних досліджень.

На першому етапі спочатку перед вимірами на дорозі вибирають перетин. Перетин проводять в тому місці дороги, де потік рухається рівномірно.

Потім обирають число вимірів n . Зазвичай число вимірів приймають в кількості, яка достатня для отримання високої точності вимірювання. За необхідністю, число вимірів збільшують.

Далі забезпечують випадковий порядок вимірювань. Для цього автомобілі вибирають таким чином, щоб вони контролювалися у випадковому порядку.

Наступним кроком готують таблицю результатів спостережень. Зведення спостережень являє собою таблицю, що має два стовпчика. У перший стовпець записують номер автомобіля, починаючи з 1, у другій стовпець вписують значення його швидкості руху.

Результати замірів вводять в комп'ютер. Для подальшої обробки даних використовують стандартне або спеціалізоване програмне забезпечення, наприклад Excel, MATLAB, STATISTICA. В більшості випадків результати обробки даних представляють у вигляді гістограм та графіків розподілу швидкостей.

12.3 Описання методики збору експериментальних даних

Для визначення швидкості вільного руху і для оцінки фактичних швидкісних режимів руху на ВДМ міста Харкова були проведені дослідження на різних ділянках. В кожному разі обиралися перегони вулиць, максимально віддалені від перехресть.

Спостереження проводилися в еталонних умовах на перегоні: на прямолінійній ділянці автомобільної дороги довжиною не менше 100 м в звичайних погодних умовах, в умовах достатньої видимості, покриття рівне з шорсткою обробкою, чисте. Несприятливі дорожні умови на ділянках були відсутні.

Вимірювання вільних швидкостей руху легкових автомобілів проводилися на різних ділянках вулиць переважно в вихідні дні тижня. Було проведено 9 серії вимірювань.

Для вимірювання використовувався радар марки Bushnell II Speed Radar Gun (101911). Радар дозволяє легко виміряти швидкість автомобіля з точністю вимірювання ± 2 км/год. В радарі даної марки використовується цифрова технологія DSP (Digital Signal Processing), щоб забезпечити точне вимірювання в реальному часі.

В процесі вимірювання радар направлявся на поодинокий легковий автомобіль, що рухався по ділянці дороги на відстані від 50 до 100 м. При цьому оператор намагався стояти якнайближче до проїзної частини, щоб зменшити похибку вимірювання через так званий синус-ефект.

Вимірювалися швидкості руху виключно легкових автомобілів, оскільки їх кількість у складі транспортного потоку становить понад 90 %. Обсяг вибірки становив 40 автомобілів для кожної ділянки. В процес проведення досліджень було зафіксовано, що низька водіїв починали зменшувати швидкість руху, коли в поле їх зору потрапляв чоловік з радаром, тому було прийняте рішення фіксувати швидкість автомобілів при їх віддаленні від спостерігача.

Важливим показником при вимірі швидкості є діапазон довірчого інтервалу, що залежить від розмаху значень спостережуваного показника і числа спостережень. Довірчі межі встановлюють виходячи із значення функції, яка характеризує ступінь необхідної надійності досліджуваного параметра. Це значення (при нормальному розподілі значень показника, що характерний для більшості технічних вимірювань) показує число середньоквадратичних відхилень, які потрібно відкласти праворуч і ліворуч від центру розсіювання (середнього значення) для того, щоб забезпечити ймовірність попадання довірчої ймовірності в отриману межу.

Середні значення швидкості вільного руху на кожній ділянці ВДМ розраховуються за формулою

$$\bar{V}_{\text{в.р.}} = \frac{60 \cdot \sum_{i=1}^n V_{\text{в.р.}i}}{n}, \quad (12.1)$$

де $V_{\text{в.р.}i}$ – швидкість вільного руху автомобіля для i -го заміру, км/год.;

n – кількість замірів.

Результати розрахунків $V_{\text{в.р.}i}$ наведені у таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 - Результати статистичної обробки експериментальних даних швидкостей руху автомобілів

Розташування поста	проспект Московський	проспект Тракторо- будівників	вул. 12-го Квітня	вул. Миру
Середнє значення	82,1	70,2	57,75	64,93
Мода	89,0	75	61	55,00
Стандартне відхилення	11,3	10,39	9,44	9,95
Дисперсія вибірки	127,2	107,9	89,23	99,05
Кількість	40	40	40	40
Ймовірність довіри (95,0 %)	3,6	3,32	3,02	3,18

Тепер треба перевірити, чи достатньо проведеної кількості замірів для забезпечення необхідної точності й надійності результатів. Необхідний обсяг вибірки розраховують за формулою

$$n_{\text{нотр}} = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot \sigma^2}{\eta^2}, \quad (12.2)$$

де t_{α} – функція довірчої імовірності;

σ – середнє квадратичне відхилення, км/год.;

η – крайня дозвільна помилка, км/год.

$$\eta = \Delta \cdot \bar{V}_c, \quad (12.3)$$

де Δ – відносна точність обліку.

Значення функції довірчої імовірності t_α обирають залежно від довірчої імовірності α за статистичними таблицями (для $\alpha = 0,95$ $t_\alpha = 1,96$) [123].

Якщо $n > n_{\text{потр}}$, можна зробити висновок, що проведеної кількості замірів достатньо для забезпечення необхідної надійності результатів.

Наприклад для значень швидкості сполучення для ділянки №1

$$n_{\text{потр}} = \frac{1,96^2 \cdot 9,62^2}{2,73^2}.$$

Тобто, можна зробити висновок, що проведеної кількості замірів швидкості сполучення достатньо для забезпечення необхідної надійності результатів.

12.4 Побудова розподілів швидкостей вільного руху ТЗ на ділянках ВДМ міста

Відомо, що швидкість одиночного автомобіля виступає як складна функція великої сукупності факторів і параметрів системи ВАДС. Тому практичну цінність представляє зіставлення розподілів швидкостей руху, які отримують в результаті статистичної обробки достатньої кількості даних. Зазвичай розподілення швидкостей руху транспортних наводять у вигляді гістограм.

Порівняно із іншими параметрами розсіювання швидкостей транспортних засобів є найбільш значним, тому фактичні дані про розподіли швидкостей руху на ділянці ВДМ можна отримати лише експериментальним шляхом. Величина середньої швидкості руху залежить від геометрії ділянки дороги, встановлених обмежень швидкісного режиму, від погодних умов і освітленості. Також розподілення швидкостей буде значно відрізнятися для різних типів ТЗ.

Для проведення експериментальних досліджень впливу дорожніх умов на швидкість руху автомобіля були обрані кілька характерних ділянок в межах ВДМ міста Харкова, які були згруповані за типами [128].

Магістральні вулиці загальноміського значення:

- проспект Московський. Це магістральна вулиця загальноміського значення, має 3 смуги руху в даному напрямку та розділювальну смугу. Пішохідний руху на ділянці обстеження відсутній. Забудова у безпосередньої близькості від дороги відсутня;

- проспект Тракторобудівників — магістральна вулиця загальноміського значення, має 4 смуги руху в обох напрямках. Пішохідний руху на ділянці обстеження відсутній. Забудова у безпосередньої близькості від дороги відсутня.

Вулиці місцевого руху:

- вул. 12-го Квітня — вулиця місцевого сполучення з одnobічним рухом, має 2 смуги руху. Має тротуари з пішохідним рухом. Наявна житлова забудова з одного боку вулиці;

- вул. Миру — вулиця місцевого сполучення, що має 2 смуги руху в обох напрямках. Має тротуари з пішохідним рухом. Є також житлова забудова з одного боку вулиці.

Розташування постів вимірювання швидкості руху транспортних засобів на карті міста показано на рис. 12.2.

Для обробки експериментальних даних розподілу швидкостей вільного руху на ділянках ВДМ міста Харкова застосовуємо методи математичної статистики програмного комплексу STATISTICA. В результаті отримувалися статистичні характеристики масивів даних та гістограми розподілу швидкостей за інтервалами. Відповідні гістограми наведені на рис. 12.3 – 12.6.

Узагальнені результати аналізу за всіма ділянками та статистичні характеристики розподілів наведені в табл. 12.1.

Як можна побачити, середнє значення швидкості руху автомобілів для обраних типових ділянок ВДМ значно відрізняється. Також можна відзначити, що

для магістральної вулиці значно більшою є величина розсіювання даних, порівняно з вулицями місцевого значення.

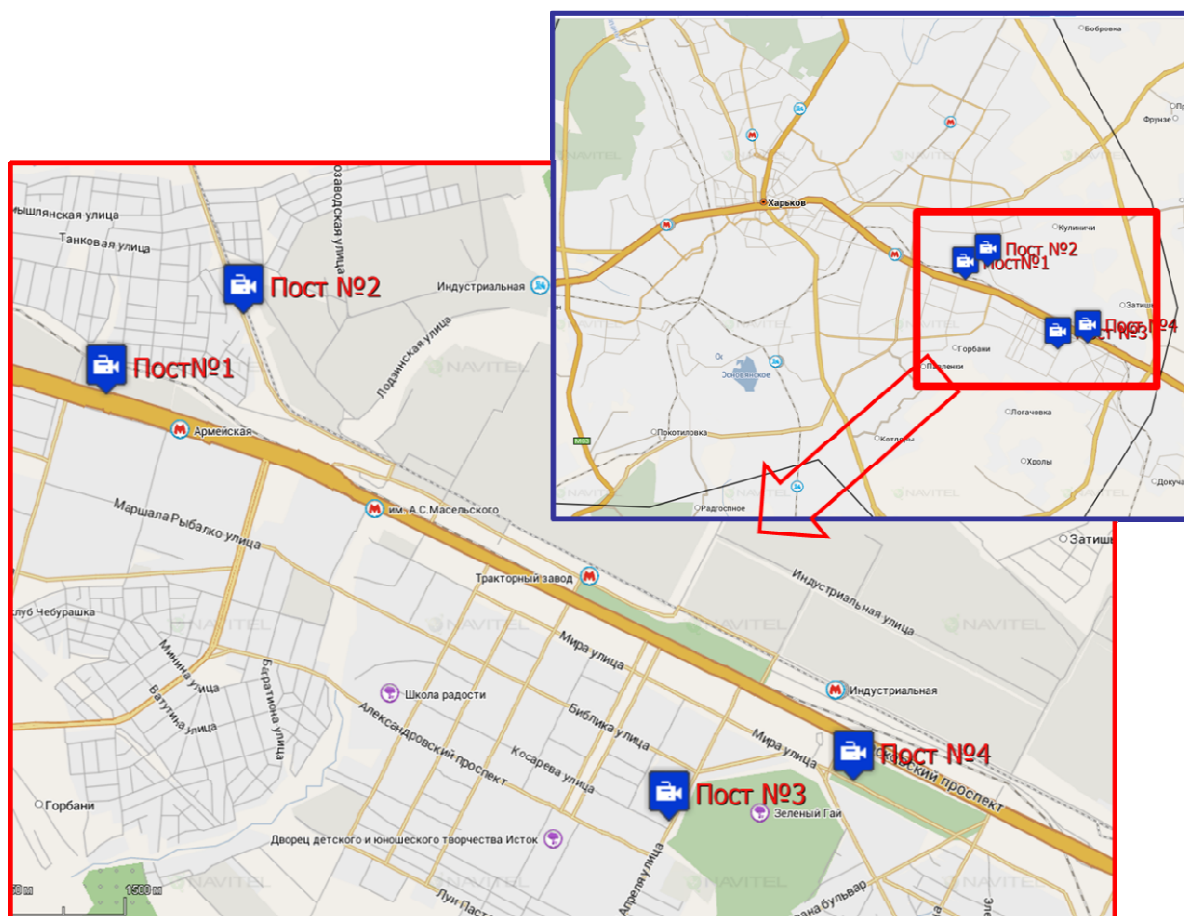


Рисунок 12.2 – Розташування вимірювальних постів

В результаті можна відзначити, що експериментальні дослідження на типових ділянках ВДМ міста (магістральних та місцевого сполучення) дозволили отримати гістограми розподілу швидкостей руху автомобілів та отримати узагальнені статистичні дані, які свідчать про наявність кореляції між середніми значеннями швидкостей та дорожніми умовами.

Отримані результати можуть бути використані перш за все при розробці норм та стандартів, які дозволяли б приймати обґрунтовані рішення щодо підвищення швидкісного режиму на окремих елементах ВДМ великих та найкрупніших міст України.

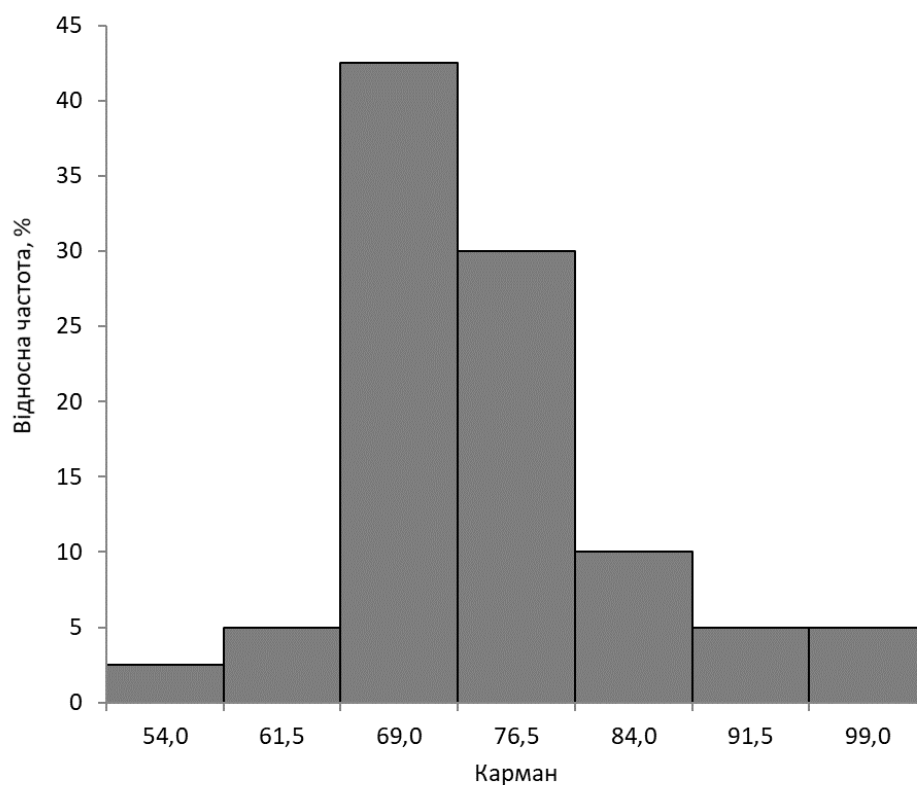


Рисунок 12.3 – Гістограма розподілу швидкостей вільного руху на ділянці пр.
Московський

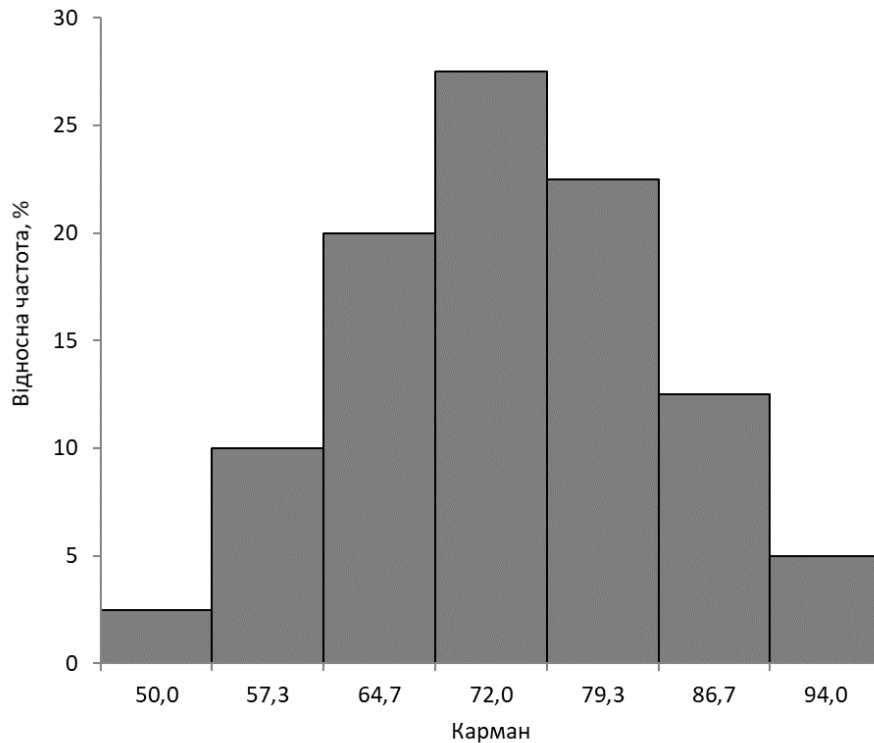


Рисунок 12.4 – Гістограма розподілу швидкостей вільного руху на ділянці пр.
Тракторобудівників

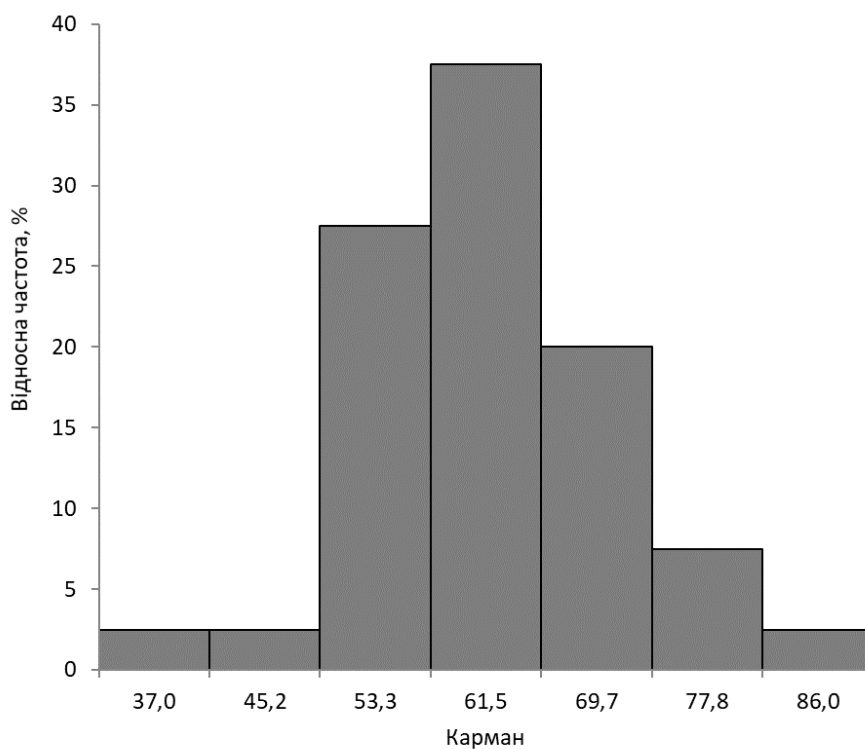


Рисунок 12.5 – Гістограма розподілу швидкостей вільного руху на ділянці вул. 12-го Квітня

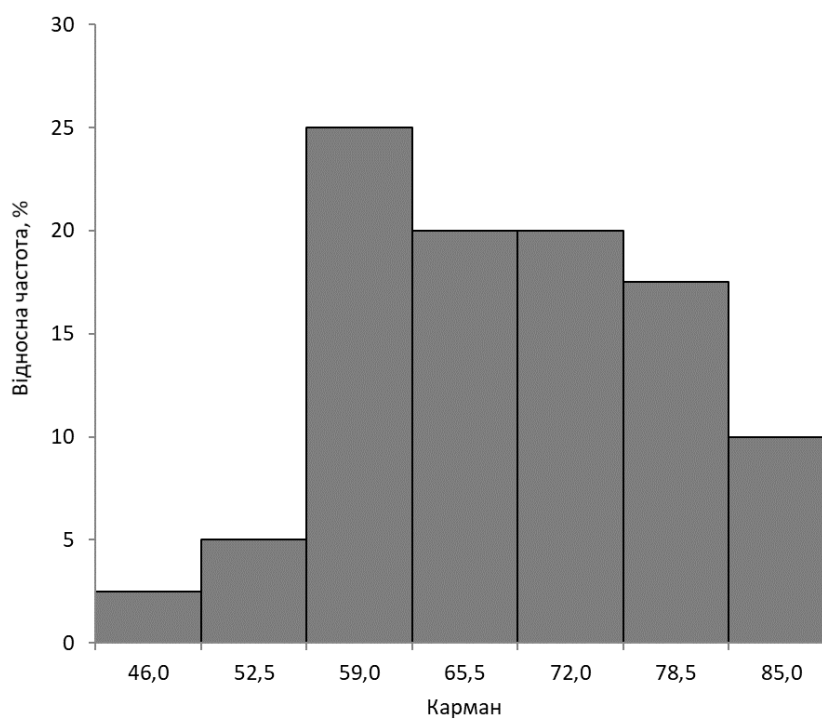


Рисунок 12.6 – Гістограма розподілу швидкостей вільного руху на ділянці вул. Миру

12.5 Визначення законів розподілу швидкостей вільного руху

Як вже було зазначено, для описання розподілу швидкостей вільного руху більшість авторів використовують досить прості однопараметричні розподіли: нормальним і гамма-розподілом. Функції щільності ймовірностей для цих розподілів матимуть наступний вигляд [129]

$$f(V) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(V-V_{\text{cp}})^2}{2\sigma^2}}, \quad (12.4)$$

$$f(V) = \lambda \cdot \frac{(\lambda \cdot V)^K}{K!} e^{-\lambda V}, \quad (12.5)$$

де V_{cp} - середнє значення швидкості;

σ^2 - дисперсія швидкості;

λ , K - параметри гамма-розподілу.

Параметри λ та K визначатимуться як

$$\lambda = \frac{V_{\text{cp}}}{\sigma^2}; \quad (12.6)$$

$$K + 1 = \frac{V_{\text{cp}}^2}{\sigma^2}; \quad (12.7)$$

Конкретні значення параметрів закону розподілу випадкової величини швидкості вільного руху m , σ (або λ и K) будуть визначатися такими параметрами ділянки дороги, як ширина смуги руху, повздовжній ухил, стан покриття та ін.

У разі, коли розподіл експериментальних даних не може бути з достатньою точністю описаний одним з простих однопараметричних законів, може бути використана функція наступного виду [129]

$$f(V) = \sum_{i=1}^n P_j \cdot f_j(V); \quad (12.8)$$

де P_j - вага j -го типу групи автомобілів транспортного потоку;

$f_j(V)$ - щільність ймовірностей швидкості автомобілів j -ї групи;

$f(V)$ - загальна щільність ймовірностей швидкості транспортного потоку.

Ступінь достовірності апроксимації експериментального розподілу швидкостей вільного руху теоретичним законом розподілу може бути встановлена за допомогою стандартних критеріїв узгодженості. Найбільш розповсюдженим є використання критерію Пірсона, для чого потрібно розрахувати параметр розбіжності χ^2 та кількість ступенів свободи r . За величиною параметрів χ^2 та r далі визначається ступінь відповідності теоретичного та експериментального розподілів [130].

12.6 Обробка експериментальних даних швидкостей вільного руху для ділянок ВДМ міста Харкова

Для апроксимації експериментальних розподілів швидкості вільного руху автомобілів на ВДМ міста Харкова використовувалися чотири стандартизовані закони розподілу: нормальний закон; гамма розподілення; логарифмічно-нормальний закон; розподілення Хі-квадрат.

Для оцінки ступеня адекватності апроксимації використовувалися два критерії: критерій Холмогорова та критерій Пірсона.

В результаті статистичної обробки даних про швидкості вільного руху по всіх чотирьох вимірювальних постах отримувалися статистичні характеристики

розподілів та будувалися диференціальні графіки розподілення щільності ймовірності.

Гістограми з накладеними на них законами розподілу швидкості вільного руху на ділянці пр. Московський (пост №1) наведені на рис. 12.7. Значення параметрів розподілів та критеріїв узгодженості наведені в табл. 12.2.

Таким чином, функція щільності ймовірностей нормального розподілу для ділянки просп. Московський матимуть вигляд

$$f(V) = \frac{1}{10,4 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(V-70,2)^2}{2 \cdot 10,4^2}} \quad (12.9)$$

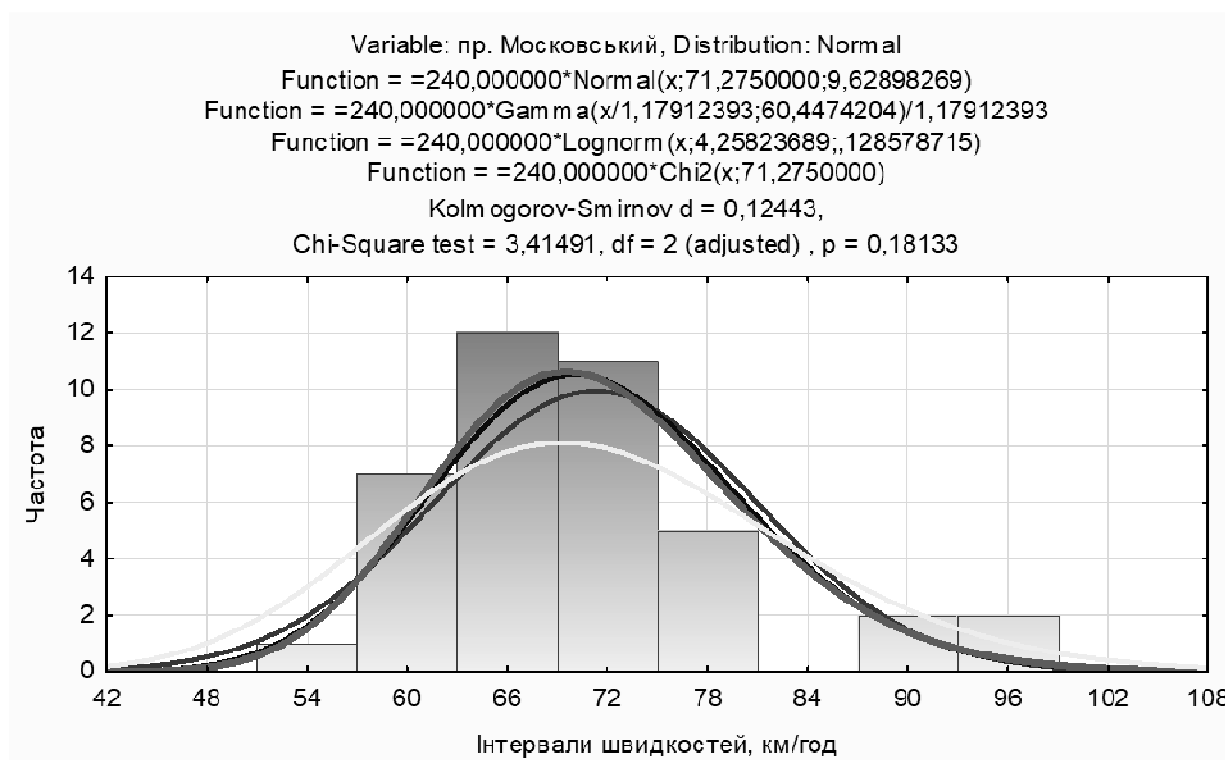


Рисунок 12.7 – Апроксимація теоретичними законами розподілу експериментальних даних швидкостей вільного руху поста №1 (просп. Московський)

Як можна побачити з результатів розрахунків критеріїв узгодження, будь-який з запропонованих законів може бути використаний для апроксимації експериментального розподілу швидкості вільного руху автомобілів на ділянці

магістральної вулиці пр. Московський. З найбільшою достовірністю розподіл швидкостей описує лог-нормальний закон розподілу, оскільки значення критеріїв Колмогорова та Пірсона для нього є мінімальними. Але, оскільки значення критеріїв узгодженості для розподілу за лог-нормальним законом відрізняється від критеріїв для нормального закону менше, ніж на 10 відсотків, можна для описання швидкості вільного руху на ділянці дослідження про просп. Московському використовувати нормальний розподіл як найбільш універсальний.

Аналогічні результати обробки даних для ділянки по пр. Тракторобудівників (пост №2) наведені на рис. 12.8 та в табл. 12.3.

Таблиця 12.2 – Параметри теоретичних функцій розподілу величини швидкості вільного руху на ділянці пр. Московський (пост №1)

Назва закону розподілу	Функція щільності розподілу	Значення параметрів розподілу	Критерії узгодженості	
			критерій Колмогорова	критерій Пірсона
Нормальний	$f(v) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(v-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$	$m=71,28$ $\sigma=9,63$	0,124	3,41
Гама-розподіл	$f(V) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \cdot V^{\lambda-1} \cdot e^{-\alpha \cdot V}$	$\lambda=1,18$ $\alpha=60,45$	0,104	2,22
Лог-нормальний	$f(v) = \frac{1}{v \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(v)-\mu}{\sigma} \right)^2}$	$\mu=4,26$ $\sigma=0,13$	0,097	1,9
Хі-квадрат	$f(V) = \frac{(1/2)^{\frac{k}{2}}}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot V^{\frac{k}{2}-1} \cdot e^{-\frac{v}{2}}$	$k=71,28$	0,134	6,42

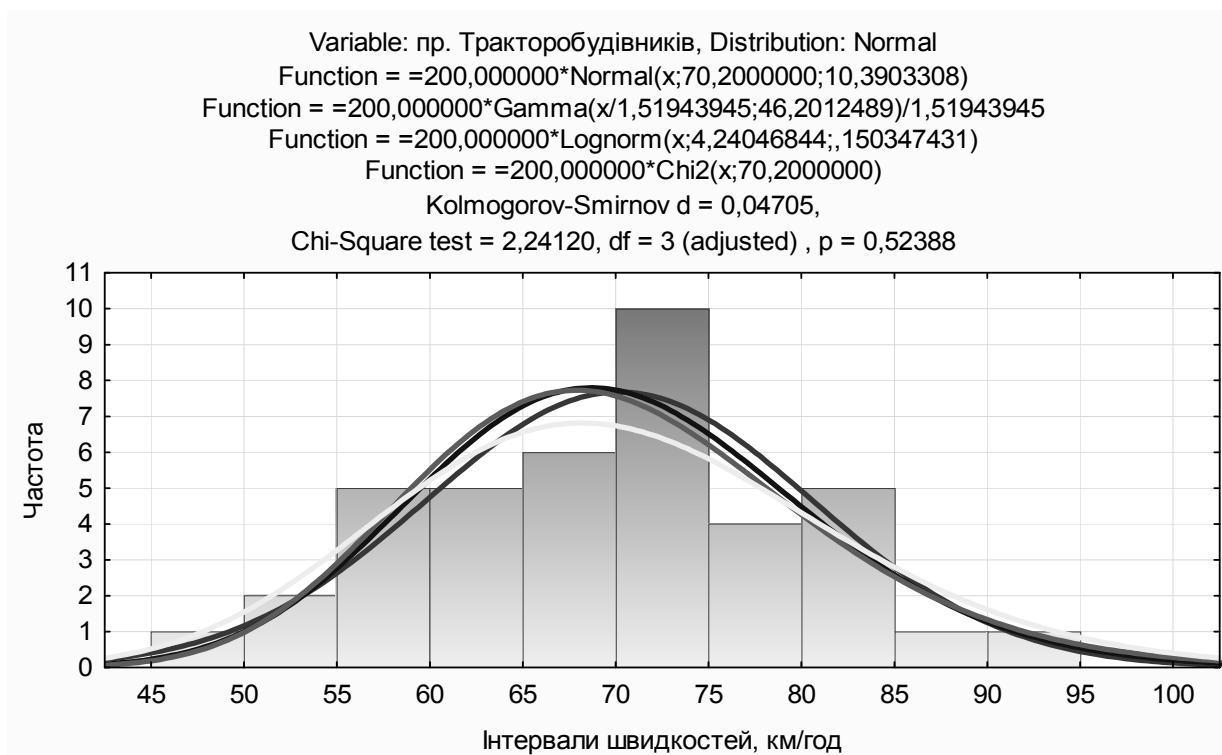


Рисунок 12.8 – Апроксимація теоретичними законами розподілу експериментальних даних швидкостей вільного руху поста №2 (пр. Тракторобудівників)

Таблиця 12.3 – Параметри теоретичних функцій розподілу величини швидкості вільного руху на ділянці пр. Тракторобудівників (пост №2)

Назва закону розподілу	Функція щільності розподілу	Значення параметрів розподілу	Критерії узгодженості	
			Критерій Колмогорова	Критерій Пірсона
Нормальний	$f(v) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(v-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$	$m=70,2$ $\sigma=10,39$	0,047	2,24
Гама-розподіл	$f(V) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \cdot V^{\lambda-1} \cdot e^{-\alpha V}$	$\lambda=1,52$ $\alpha=46,2$	0,472	2,52
Лог-нормальний	$f(v) = \frac{1}{v \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(v)-\mu}{\sigma} \right)^2}$	$\mu=4,24$ $\sigma=0,15$	0,046	2,62
Хі-квадрат	$f(V) = \frac{(1/2)^{\frac{k}{2}}}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot V^{\frac{k}{2}-1} \cdot e^{-\frac{V}{2}}$	$k=70,2$	0,06	2,68

Для розподілу швидкостей вільного руху автомобілів по пр. Тракторобудівників також можна констатувати відповідність всіх теоретичних законів розподілу вимогам критеріїв узгодженості. Тому, як і в попередньому разі доцільно для описання експериментальних даних використовувати нормальний закон розподілу.

Далі потрібно провести аналіз фактичних розподілів швидкостей вільного руху для ділянок спостереження на вулицях місцевого сполучення: вул. 12-го Квітня (пост №3) та вул. Миру (пост №4). Зображення теоретичних законів розподілу та їх параметри наведені на рис. 12.9, 12.10, аналіз узгодженості результатів за критеріями Колмогорова та Пірсона наведені в табл. 12.4 та 12.5.

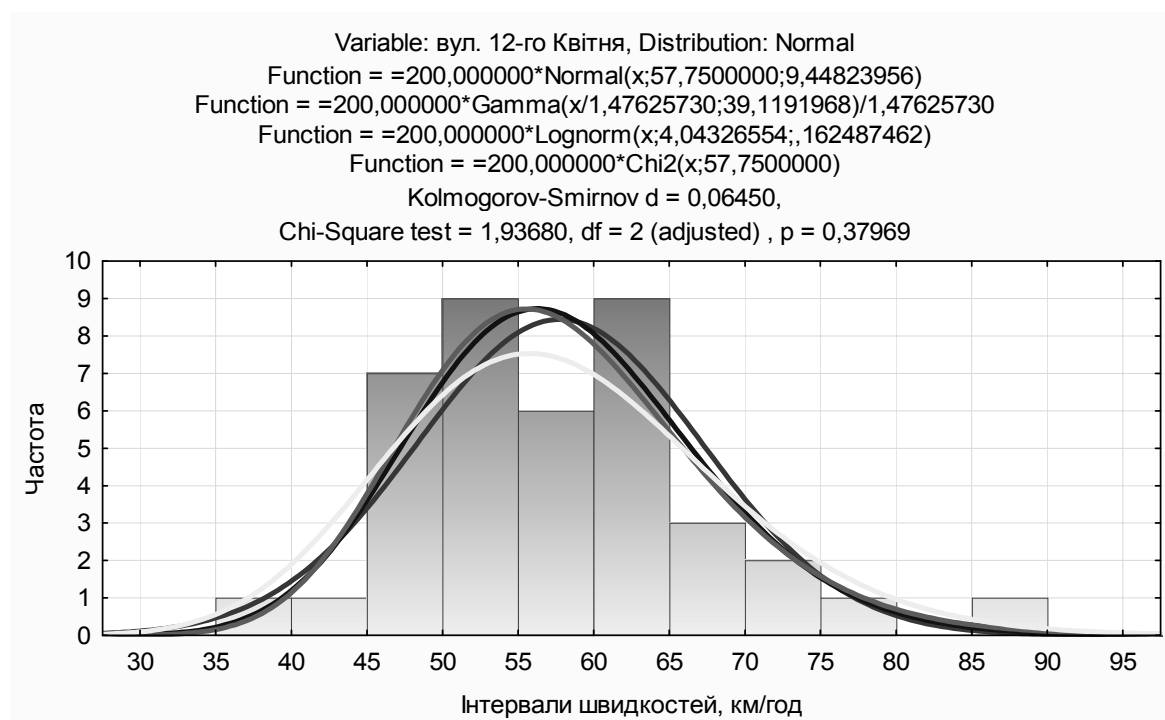


Рисунок 12.9 – Апроксимація теоретичними законами розподілу експериментальних даних швидкостей вільного руху поста №3 (вул. 12-го Квітня)

Для останніх двох ділянок дослідження також можна констатувати можливість використання всіх з запропонованих теоретичних законів розподілу з високим ступенем достовірності. Тому з аналогічних міркувань, доцільним є

прийняти у якості основного нормальний закон розподілу. Це дозволить використовувати більш традиційний математичний апарат при вирішенні завдань прогнозування значень швидкостей вільного руху для ділянок ВДМ міст з аналогічними дорожніми умовами.

Таблиця 12.4 – Параметри теоретичних функцій розподілу величини швидкості вільного руху на ділянці вул. 12-го Квітня (пост №3)

Назва закону розподілу	Функція щільності розподілу	Значення параметрів розподілу	Критерії узгодженості	
			Критерій Колмогорова	Критерій Пірсона
Нормальний	$f(v) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(v-m)^2}{2\sigma^2}}$	$m=57,75$ $\sigma=9,44$	0,064	1,94
Гама-розподіл	$f(V) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \cdot V^{\lambda-1} \cdot e^{-\alpha V}$	$\lambda=1,48$ $\alpha=39,12$	0,048	1,81
Лог-нормальний	$f(v) = \frac{1}{v \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(v)-\mu}{\sigma} \right)^2}$	$\mu=4,04$ $\sigma=0,162$	0,037	1,89
Хі-квадрат	$f(V) = \frac{(1/2)^{\frac{k}{2}}}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot V^{\frac{k}{2}-1} \cdot e^{-\frac{v}{2}}$	$k=57,75$	0,064	2,76

Також за результатами дослідження можна відмітити, що незважаючи на те, що закономірності розподілу швидкостей вільного руху на всіх досліджених ділянках ВДМ міста близькі до нормального закону, статистичні характеристики розподілів відрізняються для різних ділянок в залежності від фактичних умов руху.

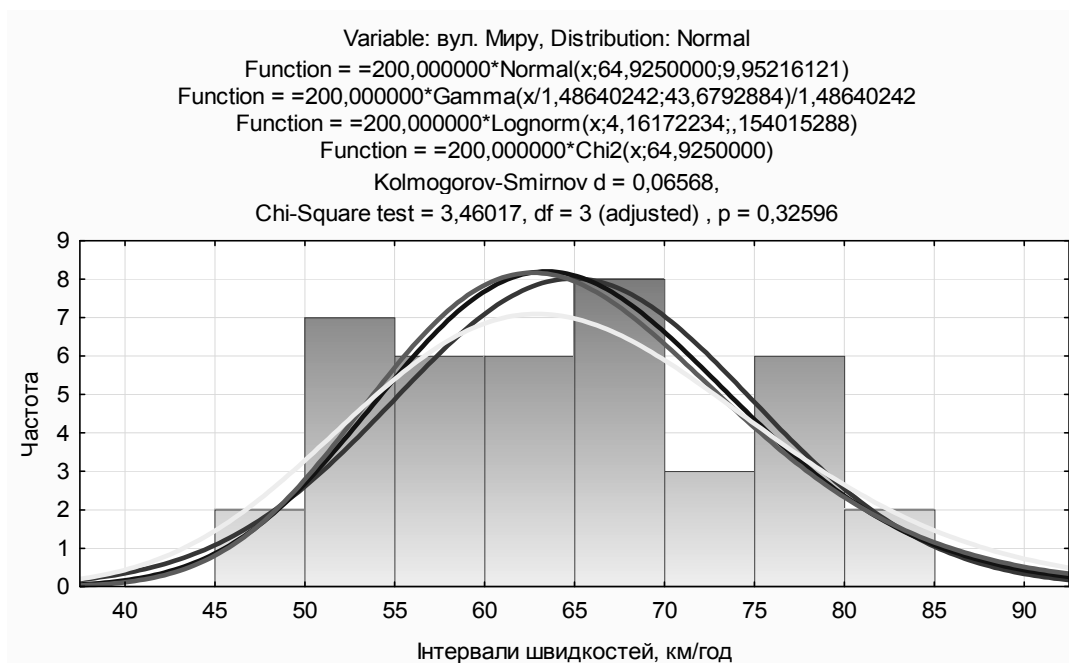


Рисунок 12.10 – Апроксимація теоретичними законами розподілу експериментальних даних швидкостей вільного руху поста №3 (вул. 12-го Квітня)

Таблиця 12.5 – Параметри теоретичних функцій розподілу величини швидкості вільного руху на ділянці вул. 12-го Квітня (пост №3)

Назва закону розподілу	Функція щільності розподілу	Значення параметрів розподілу	Критерії узгодженості	
			Критерій Колмогорова	Критерій Пірсона
Нормальний	$f(v) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(v-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$	$m=64,93$ $\sigma=9,95$	0,066	3,46
Гама-розподіл	$f(V) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \cdot V^{\lambda-1} \cdot e^{-\alpha \cdot V}$	$\lambda=1,49$ $\alpha=43,68$	0,07	3,64
Лог-нормальний	$f(v) = \frac{1}{v \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(v)-\mu}{\sigma} \right)^2}$	$\mu=4,16$ $\sigma=0,154$	0,067	3,32
Хі-квадрат	$f(V) = \frac{(1/2)^{\frac{k}{2}}}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot V^{\frac{k}{2}-1} \cdot e^{-\frac{v}{2}}$	$k=64,93$	0,049	1,59

У якості основних факторів дорожніх умов, що впливають на поведінку водіїв при виборі швидкості вільного руху можна вказати кількість смуг руху, тип ділянки ВДМ, оглядовість зони навколо автомобіля, наявність пішохідного руху уздовж ділянки. Визначення кількісних показників впливу зазначених факторів на швидкість вільного руху потребує подальших досліджень.

13 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА МАГІСТРАЛЯХ МІСТА

З кожним роком кількість автомобілів в містах збільшується і навантаження на вуличну-дорожню мережу зростає. В містах постійно будуються житлові комплекси, торгово-розважальні центри, з'являються нові об'єкти транспортної інфраструктури, в наслідок цього змінюється і перерозподіл транспортних потоків по магістралям.

Транспортні затори, які виникають на магістральних вулицях вуличної мережі значних міст, як правило швидко розповсюджуються на прилеглі ділянки вулиць і також там паралізують рух транспортних засобів. Треба відмітити, що однією із головних задач системи ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі є запобігання виникнення транспортних заторів. Тому організація дорожнього руху виділяє три основні задачі:

- попередження виникнення заторового стану на перегонах і перехрестях вулично-дорожньої мережі;
- виявлення заторових ситуацій та їх локалізація;
- попередження поширення затору на сусідні ділянки вуличної мережі [131].

Важливим аспектом для дослідження є питання прогнозування та моделювання транспортного потоку. Річ у тім, що магістральна мережа міст являє собою складну техніко-соціальну систему і є надзвичайно важкою в прогнозуванні. При пошуку ефективних стратегій у ході рішення виниклих проблем необхідно враховувати той факт, що транспортний потік має широкий спектр характеристик і носить стохастичний характер. Одним з найважливіших завдань у ході оцінки транспортного потоку є встановлення взаємозв'язку між основними його параметрами, якими є швидкість, інтенсивність і щільність [132].

Для досягнення достовірності результатів модельних експериментів, вихідні дані для моделі теж повинні бути достовірними.

На сьогодні збір інформації про параметри транспортних потоків проводять

методом натурних спостережень, який передбачає залучення великої кількості обліковців. Однак, з розвитком новітніх технологій, можливість застосування такої кількості обліковців у дослідженні транспортних потоків недоцільно. Тому актуальним виглядає питання максимальної автоматизації здійснення такої діяльності зі залученням мінімальної кількості дослідників і використанням сучасного обладнання.

В місті Харкові в 2019-2021 роках були встановлені трафік-камери (див. рис. 13.1). Ці камери мають електронно-обчислювальні модулі, які здатні визначати характеристики транспортного потоку та зберігати інформацію для подальшого аналізу і прийняття відповідного рішення відносно керування дорожнім рухом [133].

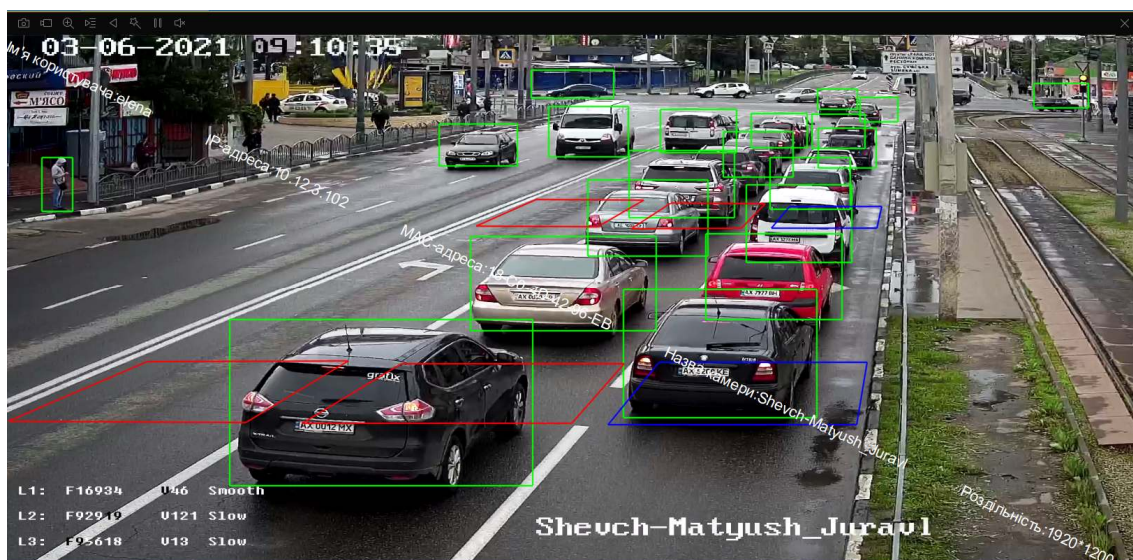


Рисунок 13.1 – Зображення з відеокamer на перехресті вул. Шевченка-вул. Матюшенка

Камери розташовані на більш завантажених вулицях міста: просп. Гагаріна, вул. Шевченка, Мерефянське шосе, вул. Героїв Праці.

Функціонал камер дозволяє вести підрахунок транспортних засобів, визначати тип транспортного засобу, рівень завантаження дороги рухом, стан руху транспортного потоку.

Дані з камер можуть бути представлені у вигляді графіків, діаграм та таблиць (див. рис. 13.2-13.3). Камери надають інформацію про інтенсивності транспортних

потоків по смугах, по напрямках, по годинам доби, за тиждень, чи місяць.

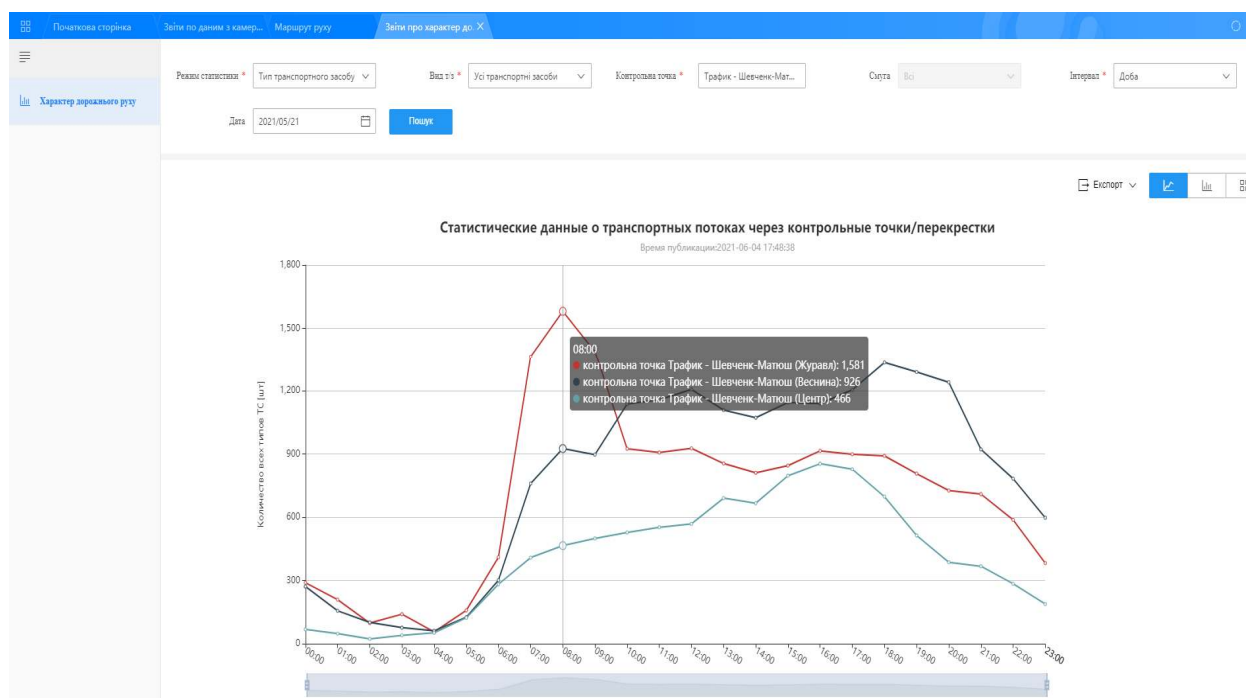


Рисунок 13.2 – Дані інтенсивностей на перехресті вул. Шевченка-вул. Матюшенка за добу

Використовуючи вихідні дані з трафік-камер можна змінювати режими роботи світлофорних об'єктів, переводити у відповідну програму один об'єкт або всю магістраль, оперативно реагувати на виникнення ДТП, заторові ситуації та неполадки в роботі технічних засобів організації дорожнього руху.

Для вирішення комплексної задачі в «боротьбі» із існуючими заторами для перерозподілу транспортних потоків по вулично-дорожній мережі міста Харкова доцільне використання програмного забезпечення PTV Visum. За допомогою даного програмного забезпечення буде побудовано транспортну модель м. Харкова, яка надасть можливість оцінити поточний стан вулично-дорожньої мережі та виявити проблемні ділянки, на яких будуть проведені відповідні заходи щодо поліпшення рівня обслуговування, а також спрогнозувати різні альтернативні сценарії по організації дорожнього руху і роботи громадського транспорту. Вибравши оптимальний варіант рішення, побудована модель дозволить перерозподілити транспортні потоки і знизити завантаженість на вулично-дорожньої мережі міста.

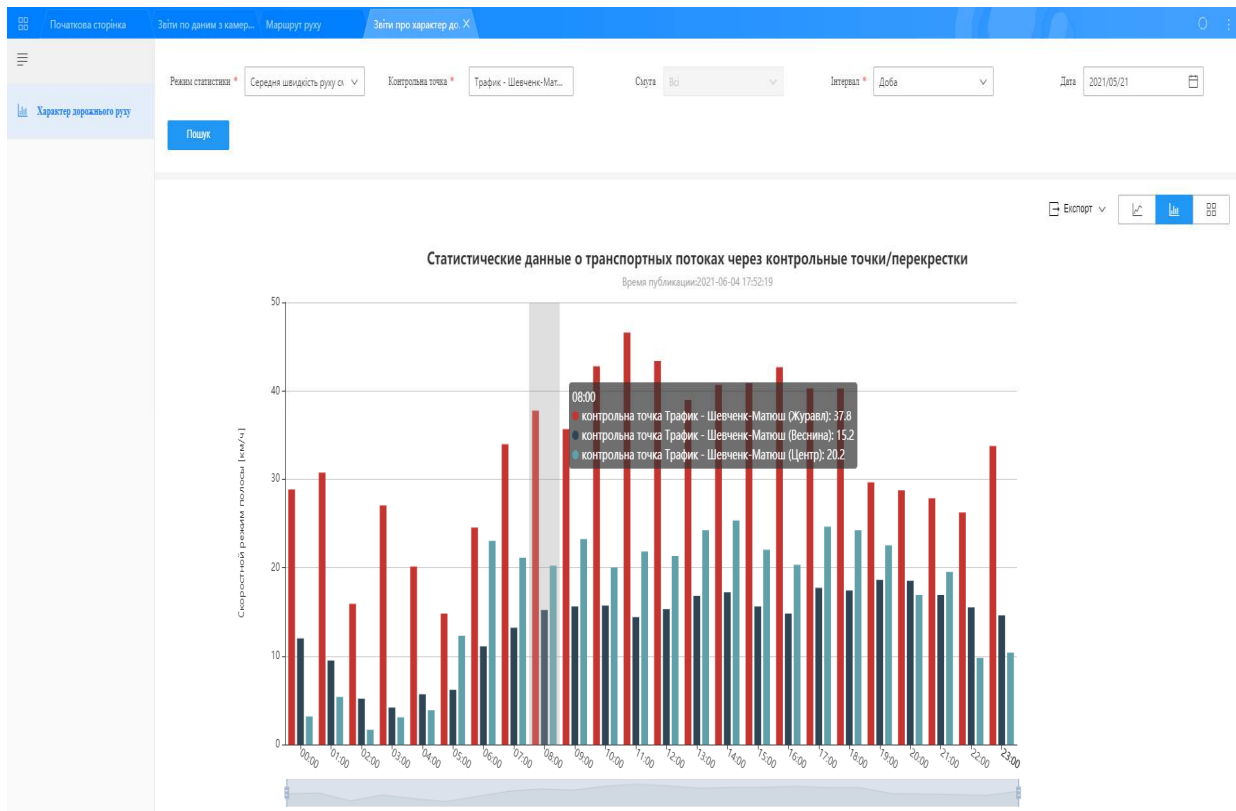


Рисунок 13.3 – Дані швидкостей на перехресті вул. Шевченка-вул. Матюшенка за добу

Для оптимізації режимів роботи світлофорного регулювання та розробки координованого управління світлофорами за принципом «Зелена хвиля» програмне забезпечення LISA+ дозволить поліпшити характеристики руху вулично-дорожньої мережі міста та оптимізувати рух транспортних потоків з забезпеченням мінімальних капітальних вкладень ресурсів і часу. Програмне забезпечення LISA+ є інструментом для розробки алгоритмів адаптивного управління з подальшою можливістю оцінки характеристик руху транспорту по засобам наявної інтеграції LISA+ з транспортно-імітаційною моделлю PTV VISSIM.

Програмне забезпечення PTV VISSIM потрібно використовувати для імітації руху транспорту та для моделювання транспортних та пішохідних потоків в транспортних вузлах. Дане програмне забезпечення дозволить розробити імітації з урахуванням численних транспортних параметрів (наприклад, швидкості, довжини затору, часу в дорозі, втрати часу) та роботи світлофорних об'єктів і проаналізувати

їх [134].

Оптимізована організація дорожнього руху та використання сучасного обладнання для контролю та моніторингу забезпечить зниження аварійності, ліквідацію аварійно-небезпечних ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод.

ВИСНОВКИ

Науково-дослідна робота кафедри організації і безпеки дорожнього руху спрямована на вирішення актуальних питань перспективних напрямків підвищення безпеки дорожнього руху. Означена проблема потребує досліджень параметрів дорожнього руху як об'єкту досліджень, а також забезпечення його необхідною якістю, а саме безпекою.

До звіту увійшли розробки фахівців кафедри за напрямами:

- підвищення транспортної та екологічної безпеки дорожнього руху;
- дослідження умов велосипедного руху у містах;
- аналіз показників безпеки та визначення ризику виникнення ДТП як на вітчизняних дорогах, так і за кордоном;
- аналітичне моделювання параметрів транспортного потоку, які впливають на безпеку дорожнього руху;
- імітаційне моделювання дорожнього руху за різними схемами ОДР у містах;
- виявлення перспективних підходів для удосконалення транспортної системи міста.

Питання безпеки дорожнього руху стають дедалі актуальніші для сучасного суспільства. Причини виникнення ДТП є різні, однак підґрунтям фахівці вважають «людський фактор». Зокрема, нехтування ременями безпеки призводить до погіршення наслідків ДТП, збільшуючи кількість загиблих у ДТП та тяжкість наслідків для постраждалих. Нажаль, відсоток водіїв, які користуються ременями безпеки, доволі низький, зокрема, в Харкові він складає всього лише 24 %. Одним із примусових заходів для водіїв з метою поширення користування ременями безпеки є підвищення суми штрафів за пересування без пристебнутого ремня та, що важливіше, має бути невідворотність такого покарання.

Порівняння показників соціальних ризиків смертності у ДТП для різних країн різних регіонів світу показує, що зі зростанням рівня автомобілізації збільшується кількість загиблих і постраждалих у ДТП, що, в свою чергу, потребує розробки та

втілення заходів з підвищення безпеки руху.

Дослідження екологічних показників автомобільного транспорту показують його шкідливий вплив на довколишнє середовище. Основним типом цього впливу є забруднення повітря відпрацьованими газами. І хоча основними напрямками зменшення викидів відпрацьованих газів є удосконалення конструкції двигунів внутрішнього згоряння та перехід на електричні двигуни. Однак на даний момент зменшити викиди шкідливих газів можливо і методами організації дорожнього руху, зокрема, зменшуючи зайві пробіги автомобілів та час зупинок в транспортних заторах.

Доведено, що зменшити втрати транспортного часу у містах з радіальним типом транспортного плануванням можливо за допомогою відведення транзитних потоків від центру міста та переспрямовування відповідних транспортних кореспонденцій через систему додаткових транспортних кілець або естакад.

Транспортні потоки у містах не є однорідними як за своїм складом, так і за іншими параметрами. Динаміку транспортного потоку можна описати системою диференційних рівнянь. Фактична щільність, Q_ϕ , потоку постійно змінюється в часі, тому транспортний потік являє собою нестационарну систему навіть при постійних значеннях змінних Q та S (динамічний габарит), так як швидкість потоку знаходиться під впливом ухилів, поворотів і інших геометричних елементів, але шлях отримання моделі залежності фактичної щільності від динамічного габариту при цьому не змінюється.

Початковий стан транспортного потоку на дорозі визначається розподілом інтенсивності і швидкості по її довжині в момент часу $t = 0$, тобто функціями $N(0, t)$ и $V(0, t)$. Стан транспортного потоку в поточний момент часу характеризується не системою чисел, а системою функцій. Такий підхід впливає на коректність подальших досліджень

В результаті дослідження проведено формалізацію процесу контурного управління транспортними потоками на підставі визначених аналітичних залежностей параметрів управління та оптимізації параметрів рівномірного руху.

Результати імітаційного моделювання доводять, що забезпечення координації транспортних потоків за принципом вирівнювання швидкості на елементах контуру магістралей приводить до підвищення ефективності функціонування транспортної системи міста. Проведений порівняльний аналіз показників ефективності контурного управління та локального управління на перехрестях контуру довів що організація рівномірного руху на контурі магістралей не тільки знижує часові затримки, а і підвищує екологічну безпеку міста.

Проблема якісної та кількісної оцінки функціонування транспортної мережі міста потребує визначення певного узагальненого критерію. Однак на сьогодні така оцінка робиться за допомогою різних окремих параметрів транспортних потоків та характеристик вулично-дорожньої мережі. Зокрема, швидкісних режимів, шуму прискорення, швидкості сполучення, часу на пересування та транспортними затримками при русі на маршруті пересування.

Вирішення питання оцінки та підвищення рівня безпеки дорожнього руху (БДР) можливе лише при застосуванні об'єктивних оціночних показників, на підставі інформації про відповідні керуючі впливи що реалізовані на окремих ділянках дорожньої мережі. При цьому, швидкість прийняття рішень може суттєво впливати на функціонування всієї транспортної системи із урахуванням безпеки учасників дорожнього руху.

При застосуванні фундаментальних закономірностей законів розподілу випадкових величин (кількість ДТП) доведено асимптотичну нормальність логнормального розподілу відносного коефіцієнта аварійності та підсумкового коефіцієнта (за експрес-методикою) для великих вибірок даних про аварійність за великі проміжки часу та можливість їх використання для визначення ризиків виникнення ДТП на складних та небезпечних ділянках доріг загального користування.

За отриманими аналітичними залежностями математичного очікування виникнення ДТП можливо визначити центр аварійності із певною імовірністю, а дисперсія логнормального розподілення описує розсіювання випадкової величини (кількості ДТП) на обраній ділянці дороги. Саме у цьому напрямку потрібно

проводити дослідження, бо такий підхід спрощує визначення ризиків виникнення ДТП за відомими статистичними даними на ділянках доріг.

Сьогодні у нашому суспільстві велосипед вважається скоріше засобом дозвілля, а не видом транспорту. Однак, за наявності відповідної велосипедної інфраструктури, зокрема, велосипедних доріжок, місць паркування велосипедів, пунктів технічного обслуговування, сервісу велопрокату, а також із вжиттям заходів з підвищення безпеки велосипедного руху такий тип транспорту може бути цілком прийнятний для пересування у містах, оскільки він має деякі переваги: не потребує значних фінансових витрат, не викидає відпрацьовані гази, займає менше місця на дорозі та при паркуванні. Також, що вельми актуально для міст зі щільною забудовою, не потребує гаражів для зберігання.

Проведено моделювання руху транспорту на перехресті з урахуванням руху велосипедів з використанням програмного продукту PTV Vision VISSIM. Такий підхід надав змогу провести порівняльний аналіз критеріїв ефективності дорожнього руху на перехрестях вулично-дорожньої мережі за різними схемами організації дорожнього руху.

Сучасна транспортна інфраструктура потребує сучасних технічних засобів регулювання дорожнього руху, а їх використання не є можливим без створення комплексних інтелектуальних транспортних систем, одним з видів яких є «розумні дороги». Перевагами «розумних доріг» є підвищення ефективності та безпеки дорожнього руху, поліпшення зручності користування транспортною інфраструктурою, зменшення екологічного навантаження. Недоліками «розумних доріг» є значні капіталовкладення при їх будівництві.

Об'єктивною характеристикою умов руху на ділянці ВДМ є розподіл значень швидкостей вільного руху. Для визначення швидкості вільного руху на типових ділянках ВДМ міста Харкова були проведені експериментальні дослідження. Закономірності розподілу швидкостей вільного руху на ділянках ВДМ міста близькі до нормального закону. Статистичні характеристики розподілів відрізняються для різних ділянок в залежності від функціонального типу вулиця (магістральна або місцевого сполучення) та фактичних дорожніх умов.

Середньозважені значення швидкості вільного руху автомобілів для ділянок магістральних вулиць виявилися більшими, ніж для вулиць місцевого руху. Значення дисперсії майже не відрізнялись для чотирьох ділянок дослідження.

Також можна припустити, що на вибір водієм швидкості руху автомобіля для даної пари ділянок вулиць вплинули такі фактори, як кількість смуг руху, наявність руху пішоходів, довжина перегону, видимість дороги та ін. Кількісний вплив окремих параметрів дороги на значення розподілу фактичних швидкостей руху представляє значний інтерес для подальшої розробки комплексної системи управління швидкістю руху транспортних засобів на ВДМ міст України, але це питання потребують подальшого дослідження.

Використання для описання експериментальних розподілів швидкостей вільного руху таких теоретичних законів розподілу, як нормальний, гама-розподіл, лог-нормальний та хі-квадрат показує добру узгодженість за критеріями Колмогорова та Пірсона. В подальшому для моделювання розподілу швидкостей вільного руху легкових автомобілів на ділянках ВДМ міста доцільно використовувати закон нормального розподілу як найбільш універсальний.

Для дослідження параметрів транспортних потоків необхідні детектори транспорту, зокрема відеокамери із системою розпізнавання зорових образів. Ці камери розрізняють окремі транспортні засоби у потоці, їх тип, колір, номерні знаки, швидкість руху, тощо. На даний час у м. Харків встановлено вже декілька десятків таких камер. Результати їх роботи показують, що враховування поточних значень параметрів транспортних потоків на найважливіших перехрестях у роботі світлофорних об'єктів дозволяє вчасно реагувати на збурення у роботі перехрестя (затори, ДТП) а також зменшити затримки транспортних засобів на перехресті за рахунок оптимізації циклограми роботи світлофорного об'єкту.

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., Дьяков А. Б., Иларионов В. А. 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., Буйленко В. Я. 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. Сприйняття та використання пасків безпеки водіями та пасажирами
[Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу:
https://auto.24tv.ua/tag/avtopodiia_tag71
14. Grondys K. The impact of freight transport operations on the level of pollution in cities. *Transportation Research Procedia*. 2019. Vol. 39. Pp. 84-91.
15. Barnes J. H., Chatterton T. J., Longhurst J. W. S.. Emissions vs exposure: Increasing injustice from road traffic-related air pollution in the United Kingdom. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2019. Vol. 73. Pp. 56-66.
16. European Environment Agency. Emissions of air pollutants from transport URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8> (дата звернення 07.07.2020).
17. Захаров Н. С. Прогнозирование количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города / Н. С. Захаров, Е. Ф. Шакирова // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск, 2010. №1(41). С. 202-206.
18. Grondys K., Kott I., Sukiennik K. Initiatives to reduce transport-related pollution in selected Polish cities. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 16. Pp. 104-109.
19. Информация об экологической ситуации в г. Харькове и мерах по ее улучшению URL: <https://pandia.ru/text/77/196/43656.php> (дата звернення 07.07.2020).
20. Silva L. T., Mendes B., Oliveira C., Reis C., Silva J. F. Contribution of an environmental monitoring system to evaluate the potential effect of urban air pollution. *Procedia Structural Integrity*. 2019. Vol. 22. Pp. 130-136.
21. Makarova I., Buyvol P., Magdin K., Pashkevich A., Shubenkova K. Usage of Microscopic Simulation to Estimate the Environmental Impact of Road Transport. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 44. Pp. 86-93.
22. Galkin A., Lobashov O., Capayova S., Hodakova D., Schlosser T. Perspective of decreasing of road traffic pollution in the cities. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. 2018. no 4(2). Pp. 547–554.
23. Pandian S., Gokhale S., Ghoshal A. Evaluating effects of traffic and vehicle

characteristics on vehicular emissions near traffic intersections. *Transportation Research. Part D Transport and Environment*. 2009. Vol. 14(3), 180–196.

24. Доля В. К. Закономірності зміни рівня автомобілізації в Харкові / В. К. Доля, О. О. Лобашов, Д. Л. Бурко // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Автомобіле- та тракторобудування. Харків, 2010. № 1. С. 160-163.
25. Харків. Основні положення генерального плану. Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2004. [Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <http://gromada.kh.ua/upload/userfiles/1/genplan.pdf> (дата звернення 08.07.2020).
26. Шаповалов А. Л. Прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха в придорожном пространстве / А. Л. Шаповалов // Вестник ХНАДУ. Харьков, 2002. Вып.19. С.82-84.
27. Бурко Д. Л. Проблеми якості організації дорожнього руху у найзначніших містах України / Д. Л. Бурко // Наукові нотатки. 2016. Вип. 55. С. 43-48.
28. Gorodokin V., Almetova Z., Shepelev V. Procedure for calculating on-time duration of the main cycle of a set of coordinated traffic lights. *Transportation Research Procedia*. 2017. Vol.20. Pp. 231–235.
29. Вукан Р. Вучик Транспорт в городах, удобных для жизни. Москва, 2011. 576 с.
30. Panis L., Broekx S., Liu R. Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. *Science of the Total Environment*. 2006. Vol. 371(1-3). Pp. 270–285.
31. Goryaev N., Myachkov K., Larin O. Optimization of “green wave” mode to ensure priority of fixed-route public transport. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol.36. Pp. 231–236.
32. Makarova I., Shubenkova K., Mavrin V., Buyvol P. Improving safety on the crosswalks with the use of fuzzy logic. *Transport Problems* 2018. Vol. 13(1). Pp. 97–109.
33. Поліщук В. П. Транспортне планування міст / В. П. Поліщук, О. В. Красильнікова, О. П. Дзюба / Київ:Знання України, 2014. - 371 с.

34. Засядько Д. В. Оценка транспортных корреспонденций, проходящих через центр города / Д. В. Засядько // "Транспорт, экология - устойчиво развитие" XIII научно-техническа конференция с международно участие. Сборник доклади. Ековарна 2017, Варна, Болгария. - С. 69-74
35. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни // Вукан Вучик. М: Территория будущего. 2011. –576с.
36. Гецович Е. М. Транспортное районирование мегаполисов / Е. М. Гецович, Д. В. Засядько, О. А. Холодова // Вестник ХНАДУ, вып. 50, 2010, Харьков:ХНАДУ, 2010. – С. 7-11
37. Гецович Е. М. Методика определения потребной вместимости паркингов в мегаполисе / Е. М. Гецович, О. А. Холодова // Вестник ХНАДУ. 2009. №47, Харьков:ХНАДУ, 2009. С. 34-39.
38. Смолянчук Р. В. Сучасні пересувні лабораторії для оцінки споживчих властивостей автомобільних доріг / Р. В. Смолянчук // Проектування, будівництво та експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. – Харків: ХНАДУ. – С. 138 – 146.
39. Кір'янов О. Ф. Інформаційні технології на автомобільному транспорті: навчальний посібник /О. Ф. Кір'янов, М. М. Мороз / Кременчук, Кременчуцький національний університет ім. М.Остроградського, 2013. – 300 с.
40. Холодова О. О. Определение границ центральной деловой части на транспортной сети города / О. О. Холодова, Н. О. Семченко, О. С. Левченко // XXVI научно-техническа конференция с международно участие. Сборник доклади. Том 27 част 1 / Варна (България):Издательство ТУ Варна, 2020. – С. 18-21
41. Jesse Russell, Ronald Cohn Алгоритм Дейкстры, М:Bookvika publishing, 2012. – 112 с.
42. Hansen, W. G. Evaluation of gravity model trip distribution procedures. Highway research board bull. 347, 1962. - pp. 67-76

43. Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М. Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
44. Global status report on road safety 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apps.wdo.int>iris>bitstream>handle>9789241565684>
45. Глобальный план осуществления Десятилетия действий по обеспечению безопасности дорожного движения, 2011-2020 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/en/
46. Smeed R. J. Some statistical aspects of road safety research / R. J. Smeed // Journal Royal Statistics. – 1949. – A (I). – P. 1-34.
47. Рейтинг стран по уровню автомобилизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/vehicles-capita>
48. Блинкин М. Я. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции / М. Я. Блинкин, Е. М. Решетова. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. – 240 с.
49. Adams J. G. U. Smeed's Law: Some Further Thoughts / J. G. U. Adams // Traffic Engineering and Control, (Feb). N. Y. – NY: Plenum, 1987. – V. 28(2). – P. 70-73.
50. Вол М. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин // пер. с англ. – М. : Транспорт, 1981. – 514 с.
51. Гук В. И. Теория измерителей транспортных потоков. Параметры трафика / В. И. Гук. Palmarium Academic Publishing 2017. – 162 с.
52. Гук В. И. Элементы теории транспортных потоков и проектирование улиц и дорог / В. И. Гук. – К.: УМК ВО, 1991. – 254 с.
53. Гук В. І. Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія / В. І. Гук, Ю. М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
54. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю.; пер. с англ. под ред. Бусленко Н. П. – М.: Транспорт, 1972. – 424с.
55. Поттгофф Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф: пер. с нем. В. И. Шейко, В. Н. Воскресенского; под ред. Е. П. Нестерова. – М.: Транспорт, 1975. – 344 с.

56. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектирование дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
57. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков : / Ф. Хейт, пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
58. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / П. Эйкхофф; пер. с англ.– М.: Мир, 1975.–684 с.
59. May A. D. et al. Capacity and Level Service for Freeway Facilities, Fourth Interim Report. SAIC Corp., March 1999.
60. Пальчик А. М. Транспортні потоки / А. М. Пальчик. – К.: НТУ, 2010.– С. 171.
61. Гук В. І. Початок динамічної теорії транспортного потоку / В. І. Гук, О. В. Запорожцева // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. Луцьк: Луцький НТУ 2018, – №2(11). ISSN 2313-5425. – С. 63–67.
62. Highway Capacity Manual 2000: Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA, 2000. 1207 p.
63. Shahgholian M, Gharavian D. Advanced Traffic Management Systems: An Overview and A Development Strategy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1810.02530>
64. Elnaz Namazi, Jingyue Li, Chaoru Lu. Intelligent Intersection Management Systems Considering Autonomous Vehicles: A Systematic Literature Review. IEEE Access. Vol. 7. P. 91946– 91965. <https://doi.org/10.1109 / ACCESS.2019.2927412>.
65. Буслаев А. П. / А. П. Буслаев, А. В. Новиков, В. М. Приходько, А. Г. Таташев, М. В. Яшина // Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения. Под ред. чл.-корр. РАН В.М. Приходько. Москва: Мир, 2003. 368 с.
66. Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С. Координированное управление дорожным движением на сети магистралей города: монография. – Харьков: ПП Федорко, 2012. – 161 с.

67. Абрамова Л. С., Имитационная модель управления транспортными потоками. / Л. С. Абрамова, Н. С. Чернобаев // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2009, № 47, Х:ХНАДУ, 2009. - С. 93-96
68. Абрамова Л. С., Чернобаев Н. С. Программная среда координированного управления транспортными потоками / Л. С. Абрамова, Н. С. Чернобаев // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту №1 – Донецьк: ТОВ «Дончанка-інформ», 2008. - С. 22-25
69. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. Москва: Радио и связь, 1988. 128 с.
70. PTV Group: an official site. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ptv.de> (дата звернення: 15.05.2019).
71. Aimsun: an official site. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aimsun.com/> (дата звернення: 15.05.2019).
72. Quadstone Paramics: an official site. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.paramics-online.com/what-is-microsimulation.php> (дата звернення: 15.05.2019).
73. Фатхутдинов Р. А. Стратегический маркетинг. – М.: ЗАО Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2000.-638 с.
74. Игнатов С. Л. Усовершенствование проектирования сети автомобильных дорог. Автореф. дис. к. т. н. УТУ, 1998
75. Филиппович Л. В. Исследование и разработка методов определения оптимальных маршрутов движения транспорта по критерию "Время". Автореф. дис. к. т. н., 1975
76. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения. М.: Транспорт, 1991. – 129 с.
77. Пугачев И. Н. Организаци и безопасность движения: Учебное пособие / И. Н. Пугачев. – Хабаровск: Из-во Хабар. гос. техн. Ун-та, 2004. – 232 с.
78. Енглезі І. П. Ефективність координованого управління транспортними потоками : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / І.П. Енглезі. – Х.: 2004. – 15 с.

79. Страментов А. Е. Городское движение / А. Е. Страментов, М. С. Фишельсон. - М.: Стройиздат, 1965. – 176 с.
80. Аксенов В. А. Техничко-економическое обоснование мероприятий, повышающих безопасность движения / В. А. Аксенов. - М.: Транспорт, 1974. -112 с.
81. Василевский М. И. Исследование возможности оперативной оценки качества организации дорожного движения на центральных улицах городов: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / М. И. Василевский. – М.: 1974. – 25 с.
82. Наказ Міністерства транспорту України від 10 лютого 1998 р. №43 (із змінами і доповненнями, останні з яких внесено наказом Міністерства транспорту України від 5 серпня 2008 року № 973).
83. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами», ВАТ «УкрНТЕК», 1999.
84. Методы оценки качества организации дорожного движения / [Г. И. Кликовштейн, В. Н. Сытник, С. И. Смирнов и др.]. - М.: МАДИ, 1987 – 78 с.
85. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов: [для студ. вищ. навч. закл.] / Е. М. Лобанов - М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
86. Капитанов В. Т. Управление транспортными потоками в городах / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. - М.: Транспорт, 1985 – 94 с.
87. Птиця Г. Г. Визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування / Г. Г. Птиця / Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи». Харків, ХНАДУ, 2016. – 244 с.
88. Elvic R. Which are the relevant costs and benefits of road safety measures designed for pedestrians and cyclists? Accident Analysis & Prevention. Vol. 32, 2000, P. 37-45. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00046-9)Get rights and content
89. Лапач С. Н. Статистика в науке и бизнесе / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. И. Бабич // К: МОРИОН, 2002. – 640 с.
90. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов. –

М.: Транспорт, 1993, – 271 с.

91. ДСТУ 8906:2019 Планування та проектування велосипедної інфраструктури. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 86 с.
92. Ukraine – Urbanization Review (Working Paper ACS15060) / [R.C. Paula, Q. Escobar, L. Eduardo, etc.]. – Washington: World Bank Group, 2015 – 218 p.
93. Litman T. Evaluating active transport benefits and costs: guide to valuing walking and cycling improvements and encouragement programs / T. Litman. – Victoria: Transportation Research Record, 1994 – P.134-140.
94. Pucher J. Walking and Cycling to Health: A Comparative Analysis of City, State, and International Data / J. Pucher, R. Buehler, D. Bassett, L. Andrew // American Journal of Public Health. – 2010. – Vol. 100/10.– P. 1986-1992
95. Jacobsen P. Safety in Numbers: More Walkers and Bicyclists, Safer Walking and Bicycling / Peter Jacobsen // Injury Prevention. – 2003. – Vol. 9. – P. 205-209.
96. Моделирование транспортных процессов: курс лекций. – НГТУ им. Алексеева Р. Е., Нижний Новгород, 2015. – 71 с.
97. Комаров В. В., Гараган С. А Интеллектуальные задачи телематических транспортных систем и интеллектуальная транспортная система // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. № 4. С. 34-38.
98. Алтухова Ю. В. Интеллектуальные информационные системы в транспорте/Ю. В. Алтухова, З. Г. Тонеян // сборник: Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы/ Материалы докладов III региональной заочной научно-практической конференции «ИИС-2015». Юго-Западный государственный университет. 2015. С. 19-21.
99. Anand Paul, Naveen Chilamkurti, Alfred Daniel, Seungmin Rho Chapter 1 - Introduction: intelligent vehicular communications // intelligent Vehicular Networks and Communications, 2017. Pp. 1-20.
100. Anand Paul, Naveen Chilamkurti, Alfred Daniel, Seungmin Rho Chapter 2 - intelligent transportation systems // intelligent Vehicular Networks and Communications, 2017. Pp. 21-41.

101. Дергунов С. А. Дороги будущего — дороги перемен / С. А. Дергунов, С. А. Орехов, Е. С. Бородин // Инновации в науке. 2014. № 30-1. С. 96-109.
102. Кельбах С. ИТС в сети платных автомобильных дорог России / С. Кельбах // Транспортная стратегия - XXI век. 2014. № 27. С. 89.
103. Приходько В. М. Формирование функциональных возможностей интеллектуальной транспортной системы для автомобильного транспорта / В. М. Приходько, С. М. Мороз, А. Н. Ременцов // Журнал автомобильных инженеров. 2011. № 4. С. 23-27.
104. Второй российский международный конгресс по интеллектуальным транспортным системам // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2010. № S2. С. 48.
105. Иванов А. М., Шадрин С. С. Разработка системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств / А. М. Иванов, С. С. Шадрин // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2013. Т. 7. № 21 (124). С. 74-77.
106. Жанказиев С. В. Разработка концепции создания интеллектуальной транспортной системы на автомобильных дорогах федерального значения / Отчет по Государственному контракту № УД-47/261 от 07.10.2009 г. на выполнение НИР по проекту. М.:Изд-во МАДИ (ГТУ), 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.znate.ru/docs/index-248623.html> (5.01.2017).
107. Kala Rahul Basics of intelligent Transportation Systems //On- Road intelligent Vehicles, 2016. Pp. 401-419.
108. Kala Rahul intelligent Transportation Systems With Diverse Vehicles // On- Road intelligent Vehicles, 2016. Pp. 420-458.
109. Weber K. Matthias, Heller-Schuh Barbara, Godoe Helge, Roeste Rannveig ICT-enabled system innovations in public services: Experiences from intelligent transport systems // Telecommunications Policy, Volume 38, Issues 5–6, June-July 2014. Pp. 539-557.
110. Закон України «Про освіту». Стаття 42 «Академічна доброчесність». URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2145-19/page3>

111. Щодо рекомендацій з академічної доброчесності для закладів вищої освіти.
Лист МОН України від 23.10.2018р., № 1/9-650
112. Сазик В. Академічна доброчесність: міфічна концепція чи дієвий інструмент забезпечення якості вищої освіти? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://education-ua.org/ua/articles/930-akademichna-dobrochesnist-mifichna-kontseptsiya-chi-dievij-instrument-zabezpechennya-yakosti-vishchoji-osviti>
113. Harvard University Graduate Design School. Academic Conduct Policy.
[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gsd.harvard.edu/resources/academic-conduct/>
114. What Is Plagiarism? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://communitystandards.stanford.edu/student-conduct-process/honor-code-and-fundamental-standard/additional-resources/what-plagiarism>
115. Бабков В. Ф. и др. Методы оценки безопасности движения и транспортных качеств автомобильных дорог. М., «Высшая школа», 1971.
116. Дрю Д, Теория транспортных потоков и управление ими. М., «Транспорт», 1972. 424 с.
117. Резник В. Н. Оценка условий безопасности движения на дорогах. — «Автодорожник Украины». Киев, «Техника», 1972, № 4, 47—48 с.
118. Калужский Я. А. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1969, 135 с.
119. Організація та регулювання дорожнього руху: Підручник / Під ред. В. П. Поліщука – К.: Знання України, 2012. – 467 с.
120. Лобанов Е. М. Пропускная способность автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1970. 152 с.
121. Baruya A, Finch DJ. 1994. Investigation of traffic speeds and accidents on urban roads. In: Traffic management and road safety: Proceedings of Seminar J held at the PTRC European Transport Forum; 1994 Sep 12-16; Warwick. London: PTRC Education and Research Services, 1994: 219-230.

122. Armour M, Cinquegrana C. 1990. Victorian study of single vehicle rural accidents. Proceedings of the 15th Australian Road Research Board Conference, Part 7, Australian Road Research Board, Melbourne, pp. 79-91.
123. The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents / M.C. Taylor, D.A. Lynam and A. Baruya. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://trl.co.uk/reports/TRL421>
124. Dowling, R., W. Kittelson, A. Skabardonis, and J. Zegeer. (1996). Planning Techniques to Estimate Speeds and Service Volumes - Final Report. NCHRP Project 3-55(2), National Cooperative Highway Research Program, Washington, D.C.
125. Ye, Q., A.P. Tarko, K.C. Sinha. (2001). "A Free-Flow Speed Model for Indiana Arterial Roads." In Proceedings of the 2001 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Paper # 01- 3349, Washington, D.C.
126. Ivan, J.N., N.W. Garrick, and G. Hanson. (2009). Designing Roads that Guide Drivers to Choose Safer Speeds. Report No. JHR-09-321. Connecticut Transportation Institute, University of Connecticut, Storrs, Connecticut.
127. Highway Capacity Manual 2010, Volumes 1 - 4, including 2014 Errata [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpHCMV000O/viewerType:toc/>
128. Рябушенко О. В. Дослідження фактичних швидкостей руху на ділянках вулично-дорожньої мережі міста Харкова / О. В. Рябушенко, І. С. Наглюк // Матеріали 10-ї Міжнародної науково-практичної конференції сучасні «Енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон: Херсонська державна морська академія. - 2019 р. – 300 с. – С. 63-67.
129. Кисляков В. М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. / В. М. Кисляков, В. В. Филиппов, И. А. Школяренко / М.: Транспорт, 1979. - 200 с.
130. Семенов В. А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. Стандарт третьего поколения. - СПб.: Питер, 2013. - 192 с.
131. Першаков В. М. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів

дорожнього руху: Монографія. -- К. : НАУ, 2015. – 177 с.

132. Осетрін М. М. Дослідження транспортних і пішохідних потоків на перетинах міських магістралей в різних рівнях / М. М. Осетрін, Д. О. Беспалов // Містобудування та територіальне планування. - 2010. - Вип. 36. - С. 333-336. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2010_36_48.
133. Левченко О. С. Використання технічних периферійних засобів автоматизованих систем керування дорожнім рухом на ВДМ міста/ Левченко О. С., Мухін Д. Е// IV Міжнародна науково-практична конференція «Безпека на транспорті — основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи» 26-27 листопада 2019 р., м. Харків, ХНАДУ, 2019. (Посвідчення УкрІНТЕІ від 20 грудня 2018 року № 676) С.103-105.
134. PTV Vissim: имитационное моделирование мультимодальных транспортных потоков с максимальной детализацией. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.ptvgroup.com/ru/reshenija/produkty/ptv-vissim>.