

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На правах рукопису

УДК 502.174:663.551.7

Забишний Ярослав Олександрович

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МІСЬКИХ
АВТОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ
(НА ПРИКЛАДІ М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека (технічні науки)

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор
Семчук Ярослав Михайлович

Івано-Франківськ – 2017

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ДОВКІЛЛЯ ТА БЕЗПЕКУ РУХУ В МЕЖАХ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ | 9 |
| 1.1 Огляд способів організації руху на дорогах | 9 |
| 1.2 Вплив транспортних потоків на стан навколишнього середовища міст..... | 14 |
| 1.3 Огляд методів підвищення екологічної безпеки транспортних потоків..... | 23 |
| 1.4 Постановка завдань дослідження..... | 31 |
| 2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ, ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ЗАБРУДНЕНЬ АВТОТРАНСПОРТОМ НА ДОВКІЛЛЯ ТА СПОСОБІВ УПОРЯДКУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ..... | 33 |
| 2.1 Особливості оцінки впливу транспортних потоків на соціальну складову..... | 33 |
| 2.2 Основні методи досліджень дорожнього руху в межах міських агломерацій..... | 36 |
| 2.3 Методи досліджень екосистем..... | 38 |
| 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛЯ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ГУСТОНАСЕЛЕНИХ РАЙОНАХ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА..... | 50 |
| 3.1 Обґрунтування та вибір районів досліджень..... | 50 |
| 3.2 Дослідження викидів транспортних потоків на обраних ділянках м. Івано-Франківськ..... | 59 |
| 3.3 Моделювання поширення забруднювальних речовин в повітрі міських агломерацій..... | 63 |
| 4 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОРОЖНІХ УМОВ ЯК СТОХАСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК..... | 88 |
| 4.1 Ймовірна сутність дорожніх умов..... | 88 |

| | |
|---|------------|
| 4.2 Властивості дорожніх факторів як ймовірнісних подій..... | 92 |
| 4.3 Теоретико-множинна інтерпретація дорожніх чинників як ймовірнісних подій..... | 96 |
| 4.4 Обґрунтування моделі оцінки ймовірностей забезпечення безпеки дорожнього руху..... | 101 |
| 5 ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ В МЕЖАХ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ ЗА РАХУНОК ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ | 107 |
| 5.1 Огляд методів підвищення екологічної безпеки транспортних потоків..... | 107 |
| 5.2 Оцінка безпеки дорожнього руху транспортних потоків..... | 114 |
| 5.3 Прогнозування коефіцієнту зчеплення від поверхневої обробки дорожнього покриття..... | 118 |
| 5.4 Оцінка підвищення безпеки дорожнього руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами..... | 122 |
| ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ..... | 132 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 134 |
| ДОДАТОК А..... | 151 |
| ДОДАТОК Б..... | 153 |

ВСТУП

Актуальність теми. Вплив автомобільного транспорту на екологічну ситуацію у нашій країні досяг критичної межі. Серед значної кількості джерел забруднення навколишнього природного середовища суттєву небезпеку становлять автотранспортні системи (автомобільні дороги та транспортні засоби). Аналіз попереднього досвіду екологічних досліджень у дорожньо-транспортній сфері показує, що у більшості вони проводяться окремо для транспортних потоків та автомобільних доріг. Екодеструктивний вплив автотранспортних систем є масштабним через велику протяжність та розгалуженість мережі автомобільних доріг та високу мобільність транспортних потоків разом із постійно зростаючою кількістю транспортних засобів.

На масштаби забруднення довкілля впливає невпорядкованість руху автотранспортних потоків у містах, особливо у місцях дорожніх заторів на світлофорах і заторів на автошляхах. Також, невпорядкованість дорожнього руху проявляється у великій кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП), так за добу в Україні відбувається близько 600 ДТП, які забирають за рік у середньому 6000 життів, травмують до 40000 людей та завдають, за оцінками Світового банку, щорічного збитку державі до 60 млрд. грн. За даними Всесвітньої організації здоров'я ДТП належать до 10 основних причин передчасної смерті людей у світі.

Актуальним та перспективним напрямом досліджень є проведення екологічного моніторингу у міських агломераціях та розроблення методів зниження шкідливого впливу транспорту на довкілля шляхом упорядкування дорожнього руху. Це дозволить забезпечити достатній рівень екологічної безпеки у міських агломераціях визначенням першочерговості та обсягу виконання природоохоронних заходів та улаштування пунктів екологічного моніторингу прикладними, програмними, організаційними і технічними засобами щодо його проведення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася як складова «Загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 рр.» та базується на результатах держбюджетних і госпдоговірних науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу: ОБ-05/2010 «Розробка «Обласної програми охорони навколишнього природного середовища до 2015 р.» (№ держреєстрації 0110U008157), що виконувалися за безпосередньою участю автора.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є оцінка шкідливого впливу автотранспорту на довкілля, невпорядкованості руху автотранспортних потоків та підвищення рівня екологічної безпеки шляхом розробки прикладних, програмних, організаційних і технічних засобів екологічного моніторингу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити зв'язок системи «дорожні умови - транспортні потоки - навколишнє середовище», природні і техногенні фактори, які формують хімічне і фізичне забруднення довкілля автомобільним транспортом міських агломерацій;
- дослідити компонентний вплив транспортних засобів на концентрацію сумарних викидів шкідливих речовин у залежності від кількості та типу автомобілів, провести моделювання за допомогою багатofакторного кореляційно-регресійного аналізу;
- розробити імовірнісну математичну модель, що дозволить попередити дорожньо-транспортні пригоди від сукупності дій дорожніх факторів;
- удосконалити методологію прогнозування коефіцієнта зчеплення від поверхневої обробки дорожнього покриття для поліпшення дорожніх умов руху автотранспорту;
- за допомогою математичного моделювання оцінити підвищення безпеки дорожнього руху в межах міських агломерацій на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами;

- запропонувати оптимізаційну схему планування маршрутної мережі міста щодо підвищення рівня екологічної безпеки та безпеки руху.

Об'єкт дослідження – вплив транспортних мереж на довкілля та соціальну складову шляхом упорядкування дорожнього руху.

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення екологічної безпеки міських автотранспортних мереж.

Методи дослідження. Оцінка впливу функціонування автотранспортних систем на атмосферне повітря міських агломерацій проводилась за допомогою документальних, натурних методів моделювання з використанням апробованих та науково обґрунтованих методик. Моделювання ступеню впливу окремих груп автомобілів транспортного потоку на концентрацію забруднюючих речовин в атмосферному повітрі проводилось на основі багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу за допомогою програмного пакета Statistika 7.0 Neural Networks. Для експериментальних досліджень рівня екологічної безпеки та ступеня забруднення атмосферного повітря під впливом автотранспортних потоків було визначено місця розташування ділянок автомобільної дороги та необхідна кількість розв'язок доріг. Обробка одержаних показників забруднення атмосферного повітря, що вимірювались, проводилась з використанням статистичної обробки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

- вперше теоретично і практично досліджено зв'язок системи «дорожні умови-транспортні потоки-навколишнє середовище» та основних чинників які формують хімічне і фізичне забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом;

- вперше шляхом багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу встановлено ступінь впливу окремих груп автомобілів транспортного потоку на концентрацію забруднюючих речовин в атмосферному повітрі;

- науково обґрунтовано необхідність подальшого розвитку дослідження найскладніших умов руху транспортних засобів на розв'язках доріг, що дозволить регулювати утворення заторів, таким чином, зменшити аварійність, знизити

виникнення екологічних ризиків, пов'язаних з інтенсивністю викидів шкідливих компонентів у довкілля автомобільними двигунами;

- набуло подальшого розвитку використання ймовірнісних моделей безпеки дорожнього руху транспортних засобів, що дозволяє попередити дорожньо-транспортні пригоди від сукупності дій дорожніх факторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в управлінні екологічною безпекою на ділянках транспортної мережі міських агломерацій, де основним видом перевезень є маршрутний транспорт. Розв'язані у дисертаційній роботі завдання дають змогу зменшити шкідливий вплив викидів автомобільного транспорту на довкілля шляхом упорядкування дорожнього руху.

Комплекс пропозицій щодо управління екологічною безпекою міста залучено до розроблення методики оптимізації внутрішніх міських автобусних маршрутів. З метою зменшення викидів шкідливих компонентів транспортних потоків на перехресті вул. Горбачевського-Тролейбусна-Калуське Шосе-Галицька проведено впорядкування дорожнього руху шляхом застосування відведеного правого повороту, додаткових смуг руху і встановлення додаткових секцій світлофора.

Результати поведених досліджень використовуються викладачами у навчальному процесі при вивченні профільних дисциплін на кафедрах «Нафтогазового технологічного транспорту» та «Екології» Івано-Франківського технічного університету нафти і газу.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження, висновки та рекомендації виконані автором самостійно. Зокрема особисто автором протягом 2011-2015р. проводилось дослідження впливу транспортних потоків м. Івано-Франківська на довкілля. Крім того, для зменшення цього впливу автором розроблялися схеми впорядкування дорожнього руху на перехрестях.

Автором запропоновані прикладні, програмні, організаційні і технічні засоби щодо проведення екологічного моніторингу у міських агломераціях.

З опублікованих у співавторстві робіт використовуються результати, які отримані здобувачем особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювалися на наступних конференціях: Всеукраїнській науково-практичній конференції аспірантів, курсантів та студентів «Техногенна та екологічна небезпека природних і промислових об'єктів», ЛДУБЖД, м. Львів, 2015р; VI Всеукраїнській науково-практичній конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів «Проблеми та перспективи розвитку охорони праці», ЛДУБЖД, м. Львів, 2016р; Міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки», НУЦЗУ, м. Харків, 2015р; міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку», Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, м. Івано-Франківськ, 2016р; IV Міжнародному конгресі «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», Національному університеті «Львівська політехніка», м. Львів, 2016р; III Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика», Херсонська державна морська академія, м. Херсон, 2016р.

У повному обсязі результати доповідалися і обговорювалися на засіданні кафедри безпеки життєдіяльності та нафтогазового технологічного транспорту в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Публікації. За результатами досліджень, що викладені в дисертації, опубліковано 16 статей, з них: 9 у фахових виданнях, 7 тез матеріалів конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел із 181 найменування, двох додатків і викладена на 153 сторінках, у тому числі: 17 рисунків, 27 таблиць.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ДОВКІЛЛЯ ТА БЕЗПЕКУ РУХУ В МЕЖАХ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ

1.1 Огляд способів організації руху на дорогах

Найскладніші умови для руху транспортних засобів виникають на розв'язках автомобільних доріг. Вони визначають пропускну здатність мережі в цілому, впливають на щільність і швидкість руху. Саме на розв'язках слід очікувати утворення заторів, підвищеної аварійності і як результат зростання інтенсивності викидів шкідливих компонентів в автомобільними двигунами в довкілля [1].

Дорожні розв'язки на пересіченнях та примиканнях автомобільних доріг проектують і будують в одному і в різних рівнях. Найбільш небезпечними є розв'язки в одному рівні. Їх влаштовують при перетинанні доріг II категорії з дорогами IV і V категорій, а також доріг III, IV і V категорій між собою, якщо сумарна інтенсивність руху на них не перевищує 4000 авт./добу (8000 зведених авт./добу) [2].

Інтенсивність руху на пересіченні дорівнює суму інтенсивностей на дорогах, які до нього примикають. Отже, автомобільні дороги на пересіченні завантажені більше, ніж на решті ділянок. Повороти окремих автомобілів праворуч і, особливо, ліворуч створюють перешкоди для руху транспортних засобів, які прямують без зміни напрямків.

На розв'язках в одному рівні виникають точки перетинання, розгалуження і злиття траєкторій руху транспортних засобів. На простому чотирибічному пересіченні (рис. 1.1) перетинання траєкторій руху утворюють 16 точок пересічення, 8 точок розгалуження і 8 точок злиття. Таки точки називають конфліктними. Чим вища інтенсивність руху і чим більша частина транспортних засобів, які здійснюють правий і особливо лівий повороти, тим вища небезпека виникнення заторів, що сприяють підвищеному забрудненню довкілля як

компонентами які викидаються з відпрацьованими газами та розповсюдження шуму та вібрації [2-3].

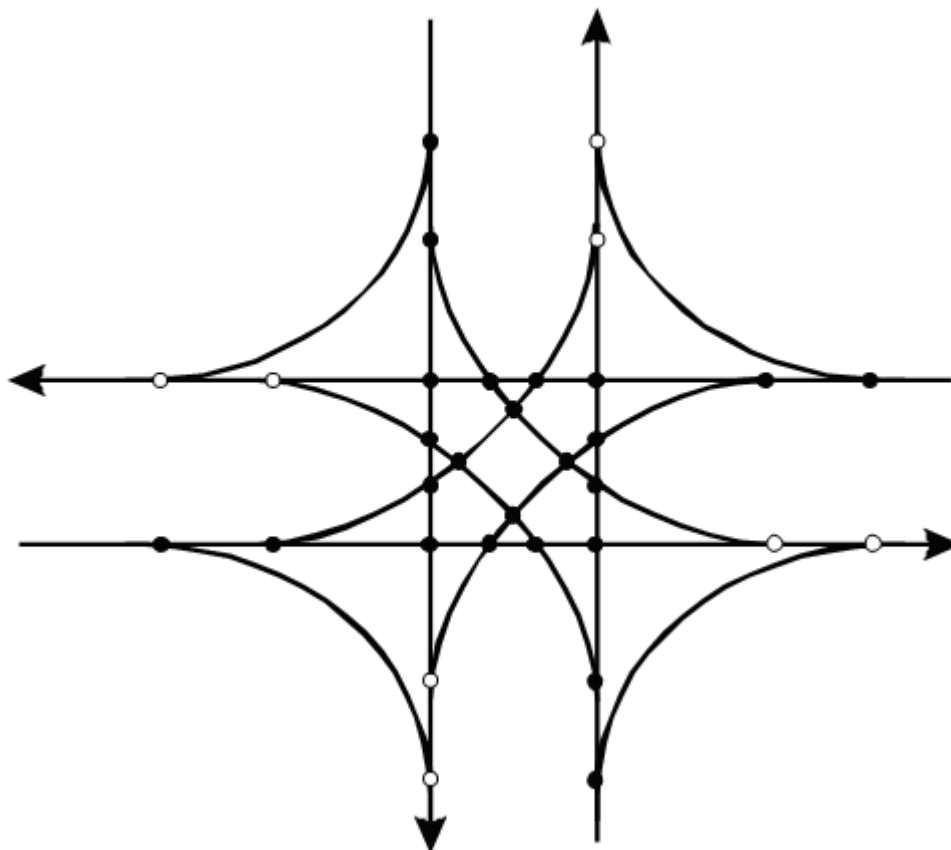


Рис. 1.1 – Місця перетинання, розгалуження і злиття траєкторій руху на розв'язках в одному рівні

На каналізованих розв'язках ширину смуги руху на головній дорозі II і III категорій призначають 3,75 м. Найменша довжина такої смуги в обидва боки від розв'язки по головній дорозі становить 150 м при інтенсивності руху менше ніж 2000 авт./добу; 200 м – при інтенсивності 2000...3000 авт./добу; 500 м – при інтенсивності 3000...4000 авт./добу і 900 м – при інтенсивності руху понад 4000 авт./добу. Ширину проїзної частини другорядних доріг на відстані не менш ніж 50 м у обидва боки від розв'язки призначають для всіх категорій при двополюсному русі не менше 7 м. Ширину проїзної частини на з'їздах каналізованих розв'язок призначають 4...5,8 м залежно від радіуса з'їзду, який має бути не менше ніж 10 м [4].

Узбіччя в межах розв'язок потрібно укріплювати, а їхню ширину призначати для головної дороги 3,75 м, а для другорядної – 2,5 м.

На усіх каналізованих і частково каналізованих розв'язках на одному рівні потрібно влаштовувати перехідно-швидкісні смуги не менше ніж 3,75 м завширшки.

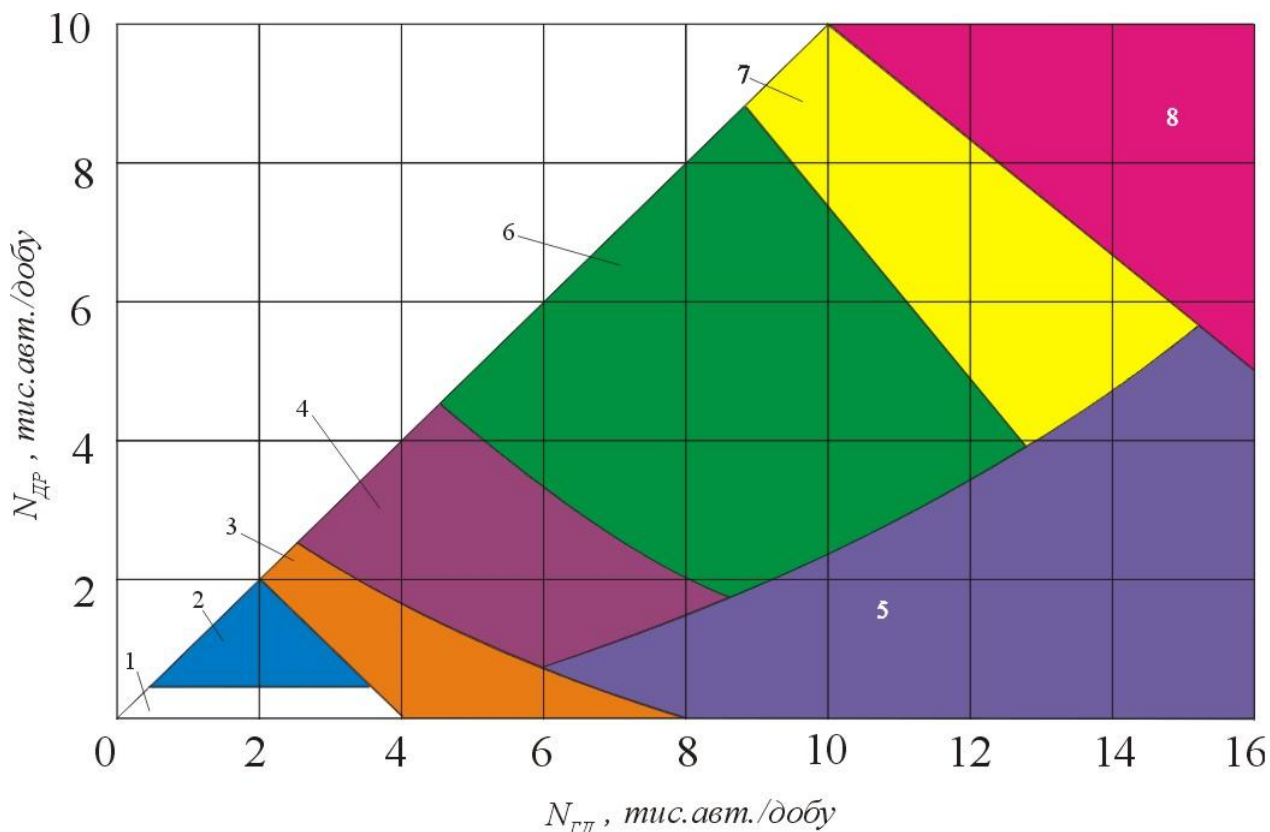
Каналізовані розв'язки рекомендують проектувати при сумарній зведеній інтенсивності руху від 2000 до 8000 зведених транспортних засобів за добу.

Кільцеві розв'язки в одному рівні проектують, якщо інтенсивності руху на дорогах, які перетинаються, є однаковими або відрізняються не більше ніж на 20 %, а кількість потоків автомобілів лівоповоротних потоків становить не менше ніж 40 % на обох дорогах. Із усіх видів розв'язок у одному рівні кільцеве з великим радіусом центрального острівця є найнебезпечнішим. Усі маневри транспортних засобів на кільцевих розв'язках зведені до включення автомобілів у потік і до виходу з нього (злиття і розгалуження потоків). Отже, на кільцевих розв'язках є переплетення потоків, але немає пересічень. Проте постійні переплетення траєкторій руху транспортних засобів зумовлюють зменшення швидкості порівняно із швидкістю на підходах. Крім того, розміщення кільцевих розв'язок потребує значних територій.

Для вибору схеми розв'язки запропоновано графік (рис. 1.2), який встановлює доцільність кожного з типів пересічення з урахуванням втрат, зумовлених очікуванням автомобілями можливості проїзду [5-7].

Розв'язки в одному рівні спричиняють зменшення швидкості руху і пропускної здатності дороги, зростання кількості дорожньо-транспортних пригод.

За міжнародними нормами проектування автомобільних доріг загального користування вибір схеми перехрестя, розрахунок його параметрів здійснюється окремо для кожного примикання, точніше окремо для кожного з'їзду з однієї дороги і кожного виїзду на іншу дорогу. Не підлягають нормуванню загальні розміри розв'язки, радіус примикання проїзної частини, довжина перехідно-швидкісної смуги і умови її призначення [7].



$N_{гл}, N_{др}$ – інтенсивність руху відповідно на головній та другорядній дорогах; 1 – прості неопоряджені розв'язки; 2 – частково каналізовані розв'язки із спрямленими острівцями на другорядній дорозі; 3 – каналізовані розв'язки із спрямленими острівцями на другорядній і головній дорогах та перехідно-швидкісними смугами на головній дорозі; 4 – кільцеві розв'язки; 5 – кільцеві розв'язки, які забезпечують кращі умови руху у найбільш завантаженому напрямку; 6 – кільцеві розв'язки з малим центральним острівцем; 7 – кільцеві розв'язки як перший етап стадійного будівництва, що потім будуть реконструйовані у розв'язки в різних рівнях; 8 – розв'язки в різних рівнях.

Рис. 1.2 – Графік для вибору схеми розв'язки

Наявність перетинань в одному рівні при збільшенні інтенсивності руху приводить до зниження пропускної здатності доріг. У зв'язку з цим виникає задача оцінки параметрів транспортного потоку в зоні перетинання для рішення питання про доцільність будівництва перетинань у різних рівнях.

Наявність перетинань в одному рівні при збільшенні інтенсивності руху приводить до зниження пропускної здатності доріг. У зв'язку з цим виникає задача оцінки параметрів транспортного потоку в зоні перетинання для рішення питання про доцільність будівництва перетинань у різних рівнях.

Рух автомобілів на перетинаннях в одному рівні є досить складним процесом, що залежить від великого числа факторів. Транспортний потік можна представити як систему, що складається з взаємозалежних і взаємодіючих між собою елементів.

Для оцінки пропускної здатності перетинань, втрат часу, кількості автомобілів, що очікують, на другорядній дорозі найбільш ефективним є застосування статистичного моделювання на ЕОМ, що дозволяє оцінити кожен тип перетинань. Одержання цих даних експериментальним шляхом вимагає великих витрат часу, а іноді і неможливо.

Принципи імітаційного моделювання руху транспортних потоків у реальних дорожніх умовах розвинуті в роботах В.В. Сильянова і В.М. Еремина [4], [5].

З побудовою моделі нерозривно зв'язане визначення вхідних перемінних, що впливають на стан транспортного потоку. Ці перемінні можна розділити на чотири категорії [2]:

- геометричні характеристики дороги,
- параметри транспортного потоку,
- поведження водія,
- характеристики автомобіля.

Важливими геометричними характеристиками є:

- величина радіусів з'їздів і ділянок розвороту,
- довжина зони переплетення,
- довжини перехідно-швидкісних смуг.

Умови руху транспортного потоку визначають три основних параметри:

- швидкість,
- інтенсивність,
- густина.

1.2 Вплив транспортних потоків на стан навколишнього середовища міст

Дослідженням характеристик транспортних потоків присвячено роботи Л.О. Коваленко, який аналізував впливи дорожніх умов на основні характеристики транспортного потоку на міських вулицях. Питання теоретичного опису механізму впливу транспортних потоків міста на навколишнє середовище в різний час вивчали такі вітчизняні та зарубіжні науковці, як Внукова Н.В., Ковальова О.М., Гутаревич Ю.Ф., Луканін В. М., Данілов О.Ф., Донченко В.В., Корчагін В.О., Трофіменко Ю. В., Фрідріх Р., Айсфельдт Н., Шварц Х., Douaud A., Girard C. та інші.

Проблемами зниження аварійності займалися такі науковці як Сильянов В.В., Кравченко П.О., Рябчинський О.І., Кондратьєв В.Д., Джоунс В., Сибеник Т. та інші.

В роботах Т.В.Бровмана, В.М.Денисова, А.Б.Дьякова, В.І.Сарбаєва та ін. представлено дані про негативний вплив автотранспорту на акустичне середовище в процесі його експлуатації, а також представлено існуючі методи дослідження взаємодії автотранспортних потоків на акустичне середовище.

Аналіз робіт П.І.Поспелова, В.В.Амбарцумяна, Л.В.Дунаєвського, О.О.Крузе, М.М. Болбаса показав, що автотранспортні потоки грають пріоритетну роль в шумовому забрудненню придорожнього середовища.

Оцінка впливу автомобілізації на навколишнє середовище повинна враховувати те, що за останні два десятиліття масштаби антропогенної діяльності значно зросли і в окремих регіонах земної кулі вже співвіднесені з величиною природних ресурсів. Прямий негативний вплив транспортної системи виявляється в підвищеному шумові, різноманітних випромінюваннях, викиді шкідливих речовин і дорожньо-транспортних пригодах [8, 9].

Наслідки негативного впливу автомобілізації почали досліджуватися з 60-х рр. ХХ століття, коли масштаби розвитку транспорту почали впливати на природне середовище, віднесли процес зростання кількості автомобілів до ряду найбільш екологічно небезпечних явищ у діяльності людства. Визначенням дії

автомобільного транспорту на людину й навколишнє середовище, шляхами вирішення цієї проблеми займалися такі вчені, як: І.Є. Євгенєв, Б.Б. Карімов, Г.Л. Осіпов, Н.І. Іванов, Е.І. Павлова й інші. Проблему захисту населення від дорожнього шуму, вібрації та пилу розглядали у своїх роботах І.Є. Євгенєв, Б.Б. Карімов, В.Ф. Бабій, Н.А. Бородіна, Н.І. Брень, В.М. Худова та інші. Також питаннями зниження шуму й вібрації від автомобілів займаються науковці Державного дорожнього науково-дослідницького інституту ім. М.П. Шульгіна [10].

При будівництві автомобільних доріг характерним є виникнення в природному середовищі екологічного бар'єра, межової лінії, яка ускладнює багато природних процесів у навколишній природі таких, як пересування тварин і втрата рівноваги (навігації) у птахів [11].

Зменшення впливу автомобілів на природне середовище та людину можливе за рахунок досконального вивчення проблеми, дотримання екологічних принципів проектування автомобільних доріг, адже від правильності запроектованої автомобільної дороги, врахування екологічних факторів проектування залежить рівень дії транспорту на навколишнє середовище. Застосування новітніх матеріалів для спорудження автомобільних доріг. Італійська фірма «Італ-Семетів» після десяти років наукових досліджень розробила дорожнє покриття, яке очищає повітря від автомобільних вихлопних газів. Це асфальтобетони з домішкою наночастинок двоокису титану. Під дією сонячних променів хімічно активна домішка перетворює незгорілі вуглеводні, чадний газ, оксиди азоту і сірки у воду, вуглекислий газ та тверді солі [11].

В ряді наукових праць [12-17] запропоновано перелік узагальнених заходів, що дозволяють знизити вплив транспорту на навколишнє середовище, а саме:

- вдосконалення нормативно-правової бази для забезпечення екологічної безпеки (сталого розвитку) промисловості та транспорту;
- створення екологічно безпечних конструкцій об'єктів транспорту, експлуатаційних, конструкційних, будівельних матеріалів, технологій виробництва;

- розробка ресурсозберігаючих технологій захисту навколишнього середовища від транспортних забруднень;
- розробка алгоритмів і технічних засобів моніторингу навколишнього середовища на транспортних об'єктах і прилягаючих до них територіях, методів управління транспортними потоками для збільшення пропускної здатності дорожньої та вулично-дорожньої мережі у великих містах;
- вдосконалення системи управління природоохоронною діяльністю на транспорті.

У відпрацьованих газах двигунів автомобілів міститься більш 200 токсичних хімічних сполук, велика частина яких представляє різні вуглеводні. Через таке різноманіття і складність ідентифікації окремих з'єднань до розгляду звичайно приймаються найбільш представлені компоненти чи їхні групи [18].

Крім прямого негативного впливу на людину викиди від автотранспорту наносять і непрямой шкоди. Так, підвищення концентрації кінцевого продукту горіння палива - діоксида вуглецю, призводить до глобального підвищення температури земної атмосфери (так званий парниковий ефект) [19].

З'єднання сірки та оксиди азоту, що викидаються в атмосферу з відпрацьованими газами двигунів автомобілів, піддаються хімічним перетворенням, формуючи різні кислоти і солі. Такі речовини повертаються на землю у виді "кислотних" дощів [20].

Зараз уже доведено, що кислотні опади наносять значну шкоду водним екосистемам, ведуть до знищення фауни, викликають підвищену корозію металів і руйнування будівельних конструкцій. Крім того, оксиди азоту сприяють фарбуванню повітря в коричневий колір, а в сполученні з різними аерозолями викликають грязьовий туман (смог), погіршуючи видимість [21, 22].

Головними причинами підвищеного забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом є [23, 24]: незадовільна якість автотранспортного палива; низькі техніко-експлуатаційні показники парку автотранспортних засобів.

Обидва ці фактори впливають на забруднення атмосфери як безпосередньо (наприклад, через неефективне спалювання палива), так і побічно (наприклад, через не виправдано високу витрату палива).

Основними проблемами, зв'язаними з якістю автотранспортних палив, є [25]: низьке октанове число в більшій частині реалізованих бензинів; малі обсяги виробництва зимових сортів дизельного палива.

Основна причина забруднення повітря полягає в неповному і нерівномірному згорянні палива. Всього 15% його витрачається на рух автомобіля, а 85% «Летить на вітер». До того ж камери згоряння автомобільного двигуна – це своєрідний хімічний реактор, що синтезує отруйні речовини і викидає їх в атмосферу [26].

Рухаючись зі швидкістю 80 - 90 км/год в середньому автомобіль перетворює на CO₂ стільки ж кисню, скільки 300-350 чоловік. Річний вихлоп одного автомобіля - це 800 кг окису вуглецю, 40 кг окислів азоту та більш 200 кг різних вуглеводнів [27].

Відомі випадки трагічної загибелі людей, запускали двигуни автомобілів при закритих воротах гаража. В одномісному гаражі смертельна концентрація окису вуглецю виникає вже через 2-3 хвилини після включення стартера [27-28].

Рівень загазованості магістралей і прилеглої території залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту та автобусів в загальному потоці та інших факторів [29].

При інтенсивності руху 500 транспортних одиниць на годину концентрація окису вуглецю на відкритій території на відстані 30-40 м від автомагістралі знижується в 3 рази і досягає норми [30].

Утруднено розсіювання викидів автомобілів на тісних вулицях. У результаті практично всі жителі міста відчувають на собі шкідливий вплив забрудненого повітря.

На швидкість поширення забруднення і концентрацію його в окремих зонах міста значно впливають температурні інверсії, як правило, при штильової погоді (75% випадків) або при слабких вітрах (від 1 до 4 м / с) [27-30].

Інверсійний шар виконує роль екрана, від якого на землю відбивається факел шкідливих речовин, в результаті чого їх приземні концентрації зростають у декілька разів.

З сполук металів, що входять до складу твердих викидів автомобілів, найбільш вивченими є сполуки свинцю. Це обумовлено тим, що сполуки свинцю, потрапляючи в організм людини і теплокровних тварин з водою, повітрям і їжею [30, 31].

До 50% денного надходження свинцю в організм припадає на повітря, в якому значну частку становлять відпрацьовані гази автомобілів [31].

Огляд і аналіз інформаційних джерел [32-40] з проблем екологізації автотранспортного комплексу дозволяє зробити наступні висновки:

- автомобільний транспорт є основним забруднювачем територій міст і міських агломерацій і, зокрема, окремих локальних територій;
- проблеми оцінки ступеня впливу транспорту на навколишнє середовище досліджені недостатньо, підходи, що існують, в основному унікальні за критерієм застосованості;
- не виявлено досліджень взаємодії автомобілів у транспортному потоці і пов'язаних із цим змін кількості викидів шкідливих речовин;
- недостатньо досліджена проблема застосування критеріїв мінімізації шкідливого впливу при оптимізації перевезень;
- недостатньо пророблена законодавча база в галузі охорони навколишнього середовища при функціонуванні транспортного комплексу;
- відсутня система економічного регулювання екологічно спрямованої діяльності автоперевізників;
- існуюче методичне забезпечення для вибору оптимального маршруту руху засновано на мінімізації витрат у процесі перевезення вантажів та пасажирів, однак не представлена адекватна економічна оцінка ступеня забруднення

навколишнього середовища при функціонуванні парку вантажних автомобілів та автобусів.

На основі аналізу [41-56] основна проблема екології автомобільного транспорту на сьогодні істотний знос автомобільної техніки - майже сімдесят відсотків автомашин застаріли і при роботі їх двигунів викидають масу шкідливих речовин. Інша причина низька якість виробленого вітчизняного бензину. Тому необхідно розробляти нові шляхи вирішення даної проблеми і вдосконалити старі.

Також згідно [57-63] наслідком постійного зростання числа автотранспортних засобів веде до перевантаження вулично-дорожньої мережі, зростання числа заторів і утруднення парковки, зниження швидкостей руху і як наслідок збільшення викидів, що забруднюють атмосферу міста. Крім хімічного забруднення атмосферного повітря для транспорту характерні й інші види негативної дії на середовище проживання людини.

Так, більшість викидів токсичних речовин в міське середовище зосереджуються на поверхні ґрунту, де відбувається їх поступове депонування, що веде до зміни хімічних і фізико-хімічних властивостей субстрату [58-62].

Найбільш серйозна екологічна проблема асоційована з транспортом згідно [63-67] емісія в повітря від автомобілів збільшилася за період 1990-2000 р. на 20-75%, від 40 до 70% оксидів азоту, від 70 до 90% окису вуглецю (СО) і не менше 50% свинцю в атмосфері викликані вихлопом автомобілів. Наслідки забруднення повітря стають найважливішою глобальною геоекологічною проблемою.

У поверхневій воді зі стічними водами від підприємств автотранспортного комплексу і від зливової каналізації надходять, в основному, нафтопродукти і зважені речовини. У поверхневих стоках з проїжджої частини автомобільних доріг містяться, крім зважених часток і нафтопродуктів, важкі метали (свинець, кадмій і ін.) є хлориди, які в зимовий період застосовуються для боротьби з ожеледицею. У середньому річний скидання хлоридів за межі доріг зі стоками і снігом становить близько 500 тис. т. Крім того, в навколишнє середовище надходить щорічно близько 35 тис. т сажових частинок в результаті стирання автомобільних шин на дорогах [68-71].

Забруднення повітря впливає на людину і навколишнє середовище. Матеріальний збиток, викликаний забрудненням повітря автомобільним транспортом, важко оцінити. При інтенсивної урбанізації і зростанні мегаполісів автомобільний транспорт став самим несприятливим екологічним фактором в охороні здоров'я людини і навколишнього середовища. За оцінками фахівців щорічні сумарні викиди автотранспорту становлять 400 млн. Т., Серед яких близько 27 млн.т. оксидів вуглецю (CO), 2,5 млн.т. вуглеводнів (C_nH_m), 9 млн.т. оксидів азоту (NO_x), 200-230 млн.т. вуглекислого газу (CO_2). Рівень забруднення повітря уздовж міських автошляхів оксидами вуглецю (CO) досягає 3...5 ГДК, а оксидами азоту (NO_x) 15...25 ГДК. Така ж напружена екологічна ситуація і в більшості країн Європи [72-86].

Виділення токсичних речовин - продуктів неповного згоряння і оксидів азоту (NO_x) в циліндрі двигуна в процесі згоряння відбувається принципово різними шляхами. Перша група токсичних речовин пов'язана з хімічними реакціями окислення палива, що перебігають як в предпламенній період, так і в процесі згоряння - розширення. Друга група токсичних речовин утворюється при з'єднанні азоту та надлишкового кисню в продуктах згоряння [87-99].

Викид NO_x з відпрацьованими газами, відповідно до класичної теорією утворення оксидів азоту, залежить від температури в камері згоряння двигунів внутрішнього згоряння. Чим більше навантаження двигуна, тим вища температура в камері згоряння, і відповідно більше викид оксидів азоту. Крім того, зі зменшенням установочного кута впрыску палива можна істотно знизити виділення оксидів азоту, але при цьому значно погіршуються показники потужності та економічні показники роботи дизеля [100-103].

Ще одна екологічна проблема, яку створює транспорт – це забруднення ґрунтів [104-106]. Дослідження ґрунтів в зоні впливу транспортних магістралей показало, що приблизно в 15% проб були перевищені гранично допустимі концентрації важких металів. У той же час зменшилася кількість проб, що не відповідають гігієнічним нормативам за мікробіологічними показниками.

Негативний вплив автомобільного транспорту на ґрунтовий покрив придорожньої смуги визначається надходженням в ґрунт найрізноманітніших хімічних речовин, серед яких важких металів і, насамперед, свинцю і його сполук в численних дослідженнях приділялася найбільш пильну увагу. Однак проблема забруднення свинцем придорожного ґрунтового покриву стає все менш актуальною. Пов'язано це, як з існуючим вже не одне десятиліття забороною на використання етилованого бензину у великих містах Росії, так і з фактичним припиненням їх випуску до справжнього моменту. У той же час все більш гостро починає проявлятися проблема забруднення ґрунтів нафтопродуктами, бенз (а) піреном, сполуками цинку і деяких інших важких металів [107-117].

Цинк надходить в придорожнє простір в результаті стирання різних деталей, ерозії оцинкованих поверхонь, зносу шин, за рахунок використання в маслах присадок, що містять цей метал. Так, в якості антиокислювальних присадок до моторних оливо застосовують діалкіл- і діарілдітіофосфати цинку, які покращують також антикорозійні властивості і зменшують знос деталей. Введення до складу масел дітіофосфатів цинку часто виявляється достатнім для запобігання корозійно-механічного зношування і модифікування поверхонь важко навантажених деталей, щоб уникнути задирів або втомного викришування. Масова частка цинку в моторних маслах для бензинових двигунів становить 0,09 - 0,12%, в маслах для дизельних двигунів - 0,05 - 0,1% [118-121].

Після відмови від використання сполук кадмію в процесах вулканізації гуми і заміни їх сполуками цинку стирання автомобільних шин також стало одним із джерел накопичення цього металу уздовж доріг. Останнім часом для боротьби з корозією широко використовується за кордоном і інтенсивно впроваджується у нас оцинковка кузовних деталей автомобілів, насамперед днища, що тягне за собою додаткове надходження цинку в придорожнє простір [122].

Одним з найбільш небезпечних важких металів є кадмій. Кадмій до певного періоду потрапляв у ґрунт при стиранні шин, тому він додавався до гуми для прискорення процесу вулканізації [119-122].

Серед показників, що характеризують забруднення ґрунту вуглеводнями, особливу значимість має бенз(а)пірен, що володіє канцерогенною дією. Бенз(а)пірен у складі інших поліциклічних ароматичних вуглеводнів міститься у відпрацьованих газах автомобільних двигунів. Крім відпрацьованих газів джерелом виділення бенз(а)пірену можуть бути органічні в'язучі матеріали, використовувані при будівництві дорожнього полотна. У шинах автомобілів поліциклічні ароматичні вуглеводні містяться через використання при виробництві гуми газової сажі, яка надає гумі необхідні властивості по стійкості до стирання, міцності, жорсткості, твердості. За наявними оцінками кожні 100 грам стершихся шин містять до 1,2 мг бенз(а)пірену. Видається, що стирання асфальту і шин є чільною причиною підвищеного накопичення бенз (а) пірену в придорожніх ґрунтах [119-125].

Накопичені в результаті численних досліджень дані свідчать про необхідність прийняття низки заходів, які обмежують надходження в природне середовище небажаних речовин, що входять до складу відпрацьованих газів автотранспорту.

Найбільше забруднення навколишнього середовища важкими металами відбувається внаслідок стирання шин і накладок гальмівних механізмів: автомобільні шини, зношуючись в процесі експлуатації, виділяють в навколишнє середовище легкі речовини і дрібні частинки у вигляді аерозолі (металів кадмію, свинцю, цинку, міді); характерне для міст часте гальмування автомобілів у щільних транспортних потоках призводить до інтенсивного стирання і попаданню продуктів стирання - частинок фрикційного матеріалу гальмівних накладок - в навколишнє середовище [116-125].

1.3 Огляд методів підвищення екологічної безпеки транспортних потоків

Основною складовою транспортного потоку в межах міських агломерацій є автомобіль.

Один автомобіль щорічно поглинає з атмосфери в середньому більше 4 т кисню, викидаючи при цьому з відпрацьованими газами приблизно 800 кг чадного газу, 40 кг оксидів азоту і майже 200 кг різних вуглеводнів [126].

До нетоксичних компонентів відносяться: азот, кисень, водень, водяні пари, а також діоксид вуглецю; до токсичних: оксид вуглецю, оксиди азоту, численна група вуглеводнів, альдегіди, сажа. Причому сажа сама по собі нетоксична, але вона адсорбує на поверхні частинок канцерогенні поліциклічні вуглеводні, у тому числі найшкідливіший і токсичний бенз(а)пірен. При чому, коли згоряє сірчисте паливо утворюються неорганічні гази - діоксиди сірки і сірководень [126].

Токсичні компоненти складають 0,2-5% від об'єму відпрацьованих газів, залежно від типу двигуна і режиму його роботи [126].

За довгий час існування проблеми автомобільних викидів і забруднення ними атмосферного повітря було розроблено безліч методів і способів, що дозволяють зменшити кількості відпрацьованих газів або понизити їх токсичність. В даний час розробляються і втілюються в життя заходи щодо зниження забруднення атмосфери викидами автомобільних двигунів, включаючи:

- удосконалення конструкцій двигунів і підвищення якостей виготовлення;
- пошук нових видів палива, використання різних присадок до нього;
- створення енергосилових установок для автомобілів, що викидають меншу кількість шкідливих речовин;
- розробка пристроїв, що знижують вміст шкідливих компонентів у відпрацьованих газах [126-129].

Практика показала, що досягти рівня токсичності відпрацьованих газів, що вимагається законодавством розвинених країн, першими трьома способами не можна. Тому набула широке поширення нейтралізація відпрацьованих газів в

системі випуску. В цьому випадку токсичні пари, що вийшли з циліндрів двигуна, нейтралізуються до викиду їх в атмосферу [126, 127].

Існує декілька способів нейтралізації відпрацьованих газів у випускній системі автомобіля:

- окислення відпрацьованих газів шляхом подачі до них додаткового повітря в термічних реакторах; термічна нейтралізація не залежить від виду спалюваного палива, наявність присадок і дозволяє використовувати в двигунах етильований бензин, реактори особливо ефективні на режимах багаті суміші при великих навантаженнях, не виходять з ладу з часом, проте не дають повного окислення CO і CH та не відновлюють NOx, тому застосовуються як додаткові пристрої перед каталітичним нейтралізатором [126, 127].

- поглинання токсичних компонентів рідиною в рідинних нейтралізаторах; цей спосіб не набув широкого поширення через малу ефективність і необхідність частої заміни рідини [126, 127];

- використання каталітичних нейтралізаторів і фільтрів сажі у дизельних двигунах зараз найактуальніше [127, 128].

У кінці 60-х років були прийняті законодавчі акти про обов'язкове зниження рівня токсичних відпрацьованих газів нових автомобілів, що змусило промисловців удосконалити двигуни і розробляти системи нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ.

Насамперед інженери кинулися удосконалювати системи живлення і запалення. Але було очевидно, що добитися такого істотного поліпшення ситуації з токсичністю без вживання додаткових пристроїв просто неможливо [127, 128].

У 1975 році на американських машинах з'явилися перші каталітичні нейтралізатори відпрацьованих газів - тоді ще двокомпонентні, так званого окислювального типу [128].

На американських автомобілях 1975 року з'явилися транзисторні системи запалення з високою енергією іскри і свічки з мідним сердечником центрального електроду - це звело до мінімуму пропуски запалення і подальші спалахи

незгорілого палива в нейтралізаторі, які загрожують оплавленням кераміки [126, 128].

У 1977р. до двокомпонентного каталізатора додали "антиазотну" секцію, а ще через декілька років об'єднали все в єдиному корпусі і назвали трикомпонентним каталізатором [128].

До 1990 року нейтралізатор переміщали впритул до випускного колектора, щоб швидше нагріватися до робочих температур (300 0С) - тим самим зменшити шкідливі викиди на стадії прогрівання [128, 129].

У 1995 році фірма "Емітек" розробила технологію підігріву каталізатора могутнім електричним опором. Заснована на цьому принципі модель каталізатора "6С" була встановлена на автомобіль БМВ "Альпіна В12" [128, 129].

У 2000 році з'явилася цеолітова пастка вуглеводнів (СН), що затримує їх при пуску двигуна і лише після його нагріву до 220°С подає їх готовому до роботи каталізатору [130].

Сучасні каталітичні нейтралізатори бувають окисні – платинові Pt або палладієві Pd, відновні – родієві Rh та трикомпонентні [131, 132].

Окисні каталітичні нейтралізатори забезпечують допалювання або доокиснення вуглеводнів СН і оксиду вуглецю (II) CO з утворенням води (H₂O) і оксиду вуглецю (IV) (CO₂). Часткове (не повне) окиснення вуглеводнів СН зумовлює утворення спиртів, альдегідів, кетонів, органічних кислот тощо. Окисні нейтралізатори дозволяють зменшити вміст CO та СН на 30...95% [132, 133].

Відновні нейтралізатори – призначені для зменшення концентрації оксидів азоту NO_x, що відновлюється з утворенням молекулярного азоту (N₂) і оксиду вуглецю (IV) (CO₂) [132-134].

Застосовують їх разом із окисними нейтралізаторами, для комплексного очищення викидів. Тобто маємо окисно-відновні нейтралізатори, де першим встановлено нейтралізатор відновлення, а другим – нейтралізатор окиснення [134].

Трикомпонентні (або селективні) каталітичні нейтралізатори – забезпечують скорочення вмісту трьох основних компонентів викидів: CO, CH і NO_x, завдяки одночасному перебігу окисно-відновних реакцій [134, 135].

Сучасний трикомпонентний каталітичний нейтралізатор складається з монолітного керамічного або металевого носія, із напиленим каталітично активним шаром. На поверхневий шар, як правило оксид алюмінію Al₂O₃, наносять каталітично активний шар з благородних металів. Співвідношення вмісту благородних металів приблизно 40...60 % платини Pt, 30...40 % паладію Pd, 10...20 % родію Rh [136].

Щоб збільшити площу контакту каталітичного шару з вихлопними газами, на поверхню стільників наноситься підкладка завтовшки 20-60 мікронів з розвиненим мікрорельєфом. Це дозволяє максимально збільшити ефективну площу контакту каталітичного покриття з вихлопними газами - до величин близько 20 тис. м² [137, 138].

Щоб понизити шкідливі викиди при пуску холодного двигуна, іноді застосовують також вбудований в каталізатор адсорбер вуглеводнів. Як тільки робоча температура досягнута, останні "звільняються" і окислюються самим каталізатором. Серед подібних пристроїв можна назвати нейтралізатор "Едкет" фірми "Делфай" або "Пума" фірми "Корнінг" [137].

Трьохкомпонентний нейтралізатор найбільш ефективний при певному складі відпрацьованих газів. Це значить, що потрібно дуже точно витримувати склад горючої суміші біля так званого стехіометричного відношення повітря/паливо значення якого лежить у вузьких межах 14,5 - 14,7. Якщо горюча суміш буде багатше, то впаде ефективність нейтралізації CO і CH, якщо бідніше - NO_x [137].

Саме тому для ефективної нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ, має існувати зворотній зв'язок між системою впорскування палива та системою виведення відпрацьованих газів. А, тому, з метою керування процесом утворення паливної суміші, для підтримання його стехіометричного складу у випускному колекторі розміщують кисневий датчик - так званий лямбда-зонд. Вступаючи в

електрохімічну реакцію з розжареними відпрацьованими газами подає сигнал про кількість кисню за даними якого блок керування робить висновки про склад суміші [138, 139].

На сучасних системах нейтралізації встановлюють також другий кисневий датчик для відстеження ефективності нейтралізації.

Вперше трьохкомпонентні нейтралізатори із зворотним зв'язком і кисневим датчиком з'явилися на двигунах автомобілів Volvo в 1977 році. А зараз ними оснащені всі без виключення автомобілі, які продаються на ринках цивілізованих країн [138-140].

У дизельному двигуні, як відомо паливо вприскується в циліндр, вже наповнений розжареним стислим повітрям і на утворення "правильної" горючої суміші просто не залишається часу. А, тому, навіть при якнайтоншому розпилюванні (для чого і підвищують тиск) не всі мікрочастинки палива встигають сполучитися з потрібною кількістю молекул кисню [141].

Зниження температури в циліндрі тільки погіршує картину, основна проблема дизеля, яку ще ніхто до кінця не вирішив - між зниженням викидів сажі і оксидів азоту: покращуючи один параметр, неминуче псуємо другою [142].

Сучасні комплексні системи очищення відпрацьованих газів для дизелів складаються з каталітичних і рідинних нейтралізаторів, а також фільтрів сажі [141, 142].

Фірми, що пропагують економічні легкові дизелі, за для екології значно ускладнюють конструкцію ДВЗ. Наприклад, пропонують встановлювати додаткові бачки з дорогими реактивами, що знижують кількість утворення сажі, яка нагромаджується у спеціальному нейтралізаторі сажі ("Пежо"). Окислити частинки, що нагромадилися в порах фільтру можна лише при достатньо високій температурі, якої відпрацьовані гази правильно побудованого дизеля не досягають [143].

Навіть якщо наказати керуючому двигуном контролеру періодично збільшувати подачу палива, все одно температури не вистачає. Рішення бачили в добавці до дизельного палива незначної кількості спеціального реагенту, що

зберігається у окремому бачку (5 літрів вистачає на 80 000 км пробігу) [142]. Це знижувало температуру початку утворення шкідливих компонентів на 100°C і дозволяло, збагативши суміш, очищати фільтр але реалізувати ці рішення вельми складно[143].

У фільтрах нового покоління загальний принцип залишився колишнім: затримати і знищити, проте, щоб добитися потрібної для цього температури необхідно[143]:

- фільтр розмістили відразу за випускним колектором;
- через кожні 300-500 км пробігу контролеру необхідно вмикати режим багатофазного уприскування, збільшуючи подачу палива в циліндр;
- поверхня фільтруючого елементу покрита тонким шаром нового каталізатора, який додатково підвищує температуру відпрацьованих газів до необхідних $560-600^{\circ}\text{C}$.

Активні фільтри вже з'явилися на дизельних двигунах "Мерседес-Бенц" С- і Е-класів, який на початку 2004 року приживуться у "Опеля" і "Рено" [143].

Тойота розробила свою, не менше ефективну систему очищення, названу DPNR [143-144].

Вона одночасно знешкоджує і канцерогенні частинки сажі, і просто шкідливі оксиди азоту. Головну роль відіграє новий мікропористий керамічний фільтр, покритий шаром, що здатний накопичувати азот і каталізатором на основі платини. Під час роботи двигуна на бідній суміші частинки сажі окислюються атомарним киснем, що звільняється при з'єднанні NO і O_2 з відпрацьованих газів в процесі накопичення NO_2 .

Періодично, коли комп'ютер короткочасно збагатив суміш, ці частинки окислюються киснем, що виникає тепер уже при розкладанні накопичених оксидів в нешкідливий азот [144].

DPNR показала зниження вмісту сажі і NO_x на 80% в порівнянні з діючими сьогодні нормами, але використовується лише для дизелів останнього покоління, що працюють з системою високого тиску "комон райл", на паливі з пониженим вмістом сірки [142-144].

Один з альтернативних методів нейтралізації відпрацьованих газів - використання низькотемпературної плазми [143-145]. Дослідження в Японії, США і Росії привели до створення експериментальних зразків устаткування, заснованого на плазмових технологіях. Розрядний пристрій включає вузол підведення відпрацьованих газів, кварцову скляну або керамічну трубку, що використовується як діелектричний бар'єр, і два електроди - центральний і зовнішній - у вигляді металевої сітки з неіржавіючої сталі. В розрядний пристрій подається струм від джерела, що формує імпульс напруги. Бар'єрний розряд виникає при електричній напрузі 0,5-35 кВ і частоті проходження імпульсів 50-2000 Гц [143].

Відпрацьовані гази дизеля прямують в плазмохімічний реактор, заздалегідь пройшовши осушення у вологовідділювачі. В плазмохімічному реакторі до цих газів "підмішують" масло. Під дією електричного розряду в трубках розрядного пристрою частинки сажі активно абсорбують масло на своїй поверхні. Для видалення сажі, частинки якої знаходяться як би в масляному коконі, використовується масловіддільник. Сажа збирається в спеціальний контейнер, а масло після додаткового очищення у фільтрі продовжує циркулювати по замкнутому контуру. Таким чином, вдається забезпечити дуже високу ефективність поглинання частинок сажі до 100% у всьому діапазоні обертів дизеля [144].

В результаті багатостадійних хімічних реакцій оксиди азоту, сірки і вуглецю розкладаються на нетоксичні молекули кисню, азоту, сірки і вуглецю. Одночасно відбувається конверсія (перетворення) оксиду азоту в його діоксид, який зв'язується радикалом ОН в азотну кислоту у вигляді аерозолі. Аналогічні реакції протікають з діоксидом сірки і оксидом вуглецю, приводячи до утворення аерозолів. Аерозолі уловлюють в достатньо простих електрофільтрах, що забезпечують ступінь очищення до 98-99% [143-144].

По попередніх розрахунках, плазмове очищення обійдеться в 1,5-2 рази дешевше, ніж в існуючих багатокомпонентних пристроях. Не вимагається використовувати благородні метали, значно збільшується ресурс систем

нейтралізації, скорочується час на їх технічне обслуговування. Проте до промислового випуску плазмохімічних реакторів (а значить, їх широкому використуванню) можна буде перейти, коли вдасться скоротити витрати потужності на електроживлення реактора. В досвідчених і експериментальних системах вони досягають 4-5% і більш від потужності дизеля[143].

В жовтні 2005 року, в країнах Євросоюзу для автомобілів почали діяти більш строгі екологічні норми Євро 4, які змінили нині діючі Євро 3. Це спонукало світових автовиробників активно працюють над тим, щоб зробити вихлоп двигунів якомога чистіше. Фахівці DaimlerChrysler створили одну з найбільш ефективніших систем - SCR (Selective Catalytic Reduction), що можна перевести як «селективний каталітичний перетворювач») [145].

Принцип дії системи SCR полягає в хімічній реакції аміаку з оксидом азоту відпрацьованих газів, в результаті якого утворюються нешкідливий азот і водяна пара.

Вирішити питання перевезення на автомобілі аміак - досить токсичну речовину удалося концерну Total, що свого часу створив безпечний замінник аміаку, розроблений на водній основі і відповідний стандартам DIN 70070. Сьогодні він широко застосовується в сільському господарстві, текстильній промисловості, а також при виготовленні косметики і парфумерії. Дана рідина не токсична, без кольору і запаху - в «автомобільному» виконанні називається Ad Blue [145].

Селективний перетворювач складається з двох основних вузлів: безпосередньо каталітичного нейтралізатора із стільниковою структурою, вмонтованого в глушник автомобіля, і додаткового бака під аміачний замінник AdBlue. Отже установка системи SCR на автомобілі з моторами Євро 3 не зажадає кардинальної зміни їх конструкції [145].

Отже як видно з розглянутих джерел на даний час можна досить ефективно боротися з шкідливими викидами бензинових та дизельних двигунів забезпечуючи їх очищення 30-95% у залежності від режиму роботи двигуна. Така ступінь очищення дозволить використання на автомобілях різних видів

альтернативних палив, використання яких на двигунах без систем очищення створювало підвищене забруднення навколишнього середовища CO, CH, NO та сажею.

Огляд і аналіз інформаційних джерел з проблем екологізації автотранспортного комплексу дозволяє зробити наступні висновки:

- автомобільний транспорт є основним забруднювачем територій міст і міських агломерацій і, зокрема, окремих локальних територій;
- проблеми оцінки ступеня впливу транспорту на навколишнє середовище досліджені недостатньо, підходи, що існують, в основному унікальні за критерієм застосованості;
- не виявлено досліджень взаємодії автомобілів у транспортному потоці і пов'язаних із цим змін кількості викидів шкідливих речовин;
- недостатньо досліджена проблема застосування критеріїв мінімізації шкідливого впливу при оптимізації перевезень;
- недостатньо пророблена законодавча база в галузі охорони навколишнього середовища при функціонуванні транспортного комплексу;
- існуючі методи зменшення шкідливого впливу на довкілля відпрацьованих газів ДВЗ є досить ефективними, забезпечують знешкодження шкідливих викидів до 95%, а даними пристроями обладнується кожен сучасний автомобіль.

1.4 Постановка завдань дослідження

1. Розробити методи досліджень, оцінки і прогнозування техногенних забруднень автотранспортом на довкілля та способів упорядкування дорожнього руху. Дані отримуються шляхом натурних досліджень. Спочатку вивчається схема вулично-дорожньої мережі певного району міста, вибираються перехрестя на якому будуть проводитись обстеження, визначаються його параметри, кількість підходів до перехрестя, смуг руху, тип дорожньої розмітки, види дорожніх знаків, засоби регулювання руху.

2. Дослідити вплив відхідних газів автотранспорту на стан атмосферного повітря в густонаселених районах міста Івано-Франківськ. З цією метою

необхідно обґрунтувати вибір районів дослідження, вибрати способи розрахунку рівнів викидів забруднення автотранспортом та визначити його поширення за допомогою математичного моделювання.

3. Визначити фактори, що впливають і можуть впливати на безпеку дорожнього руху шляхом розробки моделей оцінки ймовірностей подій забезпечення дорожнього руху.

4. Розробити методи підвищення рівня екологічної безпеки транспортних потоків міських агломерацій шляхом упорядкування дорожнього руху.

2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ, ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ЗАБРУДНЕНЬ АВТОТРАНСПОРТОМ НА ДОВКІЛЛЯ ТА СПОСОБІВ УПОРЯДКУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

2.1 Особливості оцінки впливу транспортних потоків на соціальну складову

Дослідженню оцінки ефективності функціонування та впливу транспортної системи на соціальну складову присвячені наукові праці таких вчених: В.О. Вдовиченка, О.Д. Гульчака, О.І. Мірошника, М.Є. Кристопчака та інших.

Науковці розглядають різні критерії та показники, що можуть бути покладені в основу оцінки ефективності функціонування міської транспортної системи та наголошують на тому, що застосування одного критерію чи показника є недостатнім. В якості основного критерію пропонується рівень транспортного обслуговування, а показниками оцінки ефективності роботи – техніко-економічні та техніко-експлуатаційні показники, які включають показники собівартості перевезень та продуктивність роботи транспортної системи [153, 154].

Ефективність функціонування міського транспорту не може оцінюватися лише на основі техніко-економічних та фінансових показників, оскільки його діяльність має соціальну спрямованість та позначається на екологічному стані міста та регіону в цілому, а тому до такої оцінки необхідно підходити комплексно, з урахуванням соціальної та екологічної складових. У самому широкому розумінні соціальна ефективність – це поняття, що відображає поліпшення соціальних умов життя суспільства. Проте єдності серед дослідників щодо конкретизації цього поняття не досягнуто [155].

Мочерний С.В. зазначає, що «соціальна ефективність – відповідність результатів господарської діяльності основним соціальним потребам і цілям суспільства, інтересам окремої людини» [156].

На думку Колісника Г.М. «соціальна ефективність – це відношення отриманих сприятливих соціальних результатів до витрат на їх досягнення» [157].

Розглядається у наукових працях ряду вчених і поняття «соціально-економічна ефективність». Так, Блонська В.І. соціально-економічну ефективність

визначає як показник, який характеризує відношення отриманого соціально-економічного ефекту до витрат ресурсів, що зумовили отримання цього ефекту [158].

Растворцева С.Н. стверджує, що соціально-економічна ефективність – це міра результативності системи відносно сукупного соціального та економічного ефекту її функціонування, виражена економічними показниками [159].

У науковій роботі Колісник Г.М. соціально-економічна ефективність розглядається як «сукупність відносин з приводу досягнення кінцевого соціального результату – більш повного задоволення потреб суспільства в продуктах, послугах та інформації для забезпечення зростання добробуту і всебічного, гармонійного розвитку особистості» [157].

В економічному словнику зазначається, що соціально-економічною ефективністю характеризується та економічна система, яка найбільше забезпечує задоволення різноманітних потреб людей: матеріальних, соціальних, духовних, гарантує високий рівень і якість життя. Основою такої ефективності служить оптимальний розподіл наявних ресурсів між напрямками діяльності підприємства, його департаментами та службами [160].

Аналізуючи поняття «економічна ефективність», «соціальна ефективність» та «соціально-економічна ефективність» можна прийти до висновку, що поняття «соціальний ефект» є більш широким за змістом та різноманітнішим за формою.

Дослідження сутності поняття «соціальна ефективність» дозволяє визначити соціальну ефективність міського транспорту як категорію, яка характеризує ступінь задоволеності потреб населення у транспортних послугах у кількісному та якісному аспектах та виступає мірою оцінки впливу функціонування транспортної системи міста на людину. Враховуючи специфіку послуг міського пасажирського транспорту саме досягнення високих соціальних результатів має бути пріоритетним при організації його функціонування.

Соціальний характер послуг із перевезення вимагає підпорядкованості цілей економічного зростання першочерговим цілям соціального розвитку. В свою чергу, економічне зростання системи міського пасажирського транспорту повинно позначатися на рівні задоволення потреб пасажирів, супроводжуватися зростанням якості перевезень, тобто призводити до соціального розвитку системи.

Соціальна ефективність функціонування системи міського пасажирського транспорту виявляється у її впливі на людину [161]:

- по-перше, функціонування пасажирської транспортної системи позначається на здоров'ї людини. У великих містах, насичених автомобільним транспортом, забруднення атмосферного повітря постійно зростає, що спричиняє збільшення кількості випадків захворювань серед населення. Отже, соціальний ефект від забезпечення пріоритетного розвитку екологічного транспорту проявляється у скороченні рівня захворюваності населення.

- по-друге, транспортні перевезення населення містом повинні бути безпечними для життя людини. Кількість дорожньо-транспортних пригод та постраждалих, травмованих і загиблих у них людей також є показником оцінки соціальної ефективності функціонування системи транспорту. У цьому плані найбезпечнішим видом міського пасажирського транспорту є електричний.

- по-третє, соціальна ефективність функціонування системи міського пасажирського транспорту виявляється у забезпеченні широких верств населення, в тому числі великої кількості пільгових категорій пасажирів, транспортними послугами в повному обсязі та належної якості, тобто у рівні якості транспортного обслуговування.

Функціонування транспортної системи міста повинно бути надійним, безпечним та не допускати появи у людини так званої «транспортної втоми», рівень якої залежить від часу, витраченого на поїздку. На сьогодні пасажир намагається скоротити витрати часу на транспортування містом та обирає той вид транспорту, який вивільняє час та не призводить до «транспортної втоми», а отже – не позначається на рівні працездатності людини.

Отже, оцінку соціальної ефективності функціонування системи міського транспорту, на погляд В. С. Лень, К. В. Гнедіна [161], можна здійснювати за:

1) Показниками захворюваності населення (кількість зареєстрованих випадків захворювання, рівень захворюваності населення).

2) Показниками безпеки транспортування (кількістю ДТП в цілому та за участю окремих видів транспорту, рівнем транспортної безпеки).

3) Показниками якості транспортного забезпечення (дотримання розкладу руху, швидкість руху, рівень комфортності та безпека перевезень тощо).

Отже, соціальний ефект функціонування системи міського транспорту залежить, в першу чергу, від безпеки та стану навколишнього природного середовища.

На сьогодні в умовах загострення екологічних проблем особливої актуальності набуває питання екологізації надання транспортних послуг.

Транспортні викиди в атмосферне повітря негативно позначаються на екології та здоров'ї людини. В.П.Романенко та В.С. Лень, розглядаючи питання екологічної оцінки вакцин та мікробіологічних препаратів приходять до висновку, що екологічна ефективність проявляється через поліпшенні екологічного стану або через його відновленні до попереднього. Основним критерієм для оцінки ефективності вони вважають вплив на зовнішнє середовище та людину, а еколого-економічну ефективність пропонують визначати як різницю в затратах на відновлення чи поліпшення зовнішнього середовища старими та новими способами [162].

Отже, ефективне функціонування системи міського транспорту полягає у належному рівні транспортного забезпечення населення послугами високої якості при досягненні максимального позитивного ефекту у виробничій, соціальній та екологічній сферах.

2.2 Основні методи досліджень дорожнього руху в межах міських агломерацій

Залежно від мети дослідження, можуть бути використані різні методи визначення характеристик дорожнього руху: документальні, натурні, методи моделювання.

Документальні методи – ґрунтуються на вивченні і аналізу планових, звітних, статистичних і проектно-технічних матеріалів. До цієї групи методів ставляться також анкетні обстеження транспортних потоків і пасажиропотоків. У документальних методах використовуються залежності між обсягами руху й обсягами виробництва, щільністю населення транспортних районів, транспортною рухомістю населення і т.д. Документальні методи мають високу трудомісткість і, як правило, і низьку точність результату.

Методи натурних обстежень засновані на проведенні безпосередніх вимірів

характеристик дорожнього руху у різних дослідних місцях. Інформацію можна одержати шляхом безпосередніх спостережень або за допомогою засобів автоматичної реєстрації.

Натурні обстеження діляться на локальні, зональні, регіональні. Локальні обстеження проводяться для вивчення інтенсивності, швидкості, складу потоків на перехрестях, окремих ділянках доріг, вулиць.

Зональні обстеження полягають в одержанні просторових і тимчасових характеристик у певній зоні. Ці обстеження є вибірковими.

Регіональні обстеження проводяться для одержання сумарних значень параметрів транспортних потоків у районі, місті, області. Вони використовуються для прогнозування тенденцій зміни характеристик потоків при будівництві, реконструкції об'єктів.

Перевагами методів натурних обстежень є їхня простота, висока точність. Недоліки - висока трудомісткість обстежень, неможливість застосування цих методів для проєктованих об'єктів.

Методи моделювання, що базуються на використанні математичних і нематематичних (фізичних, аналогових) моделей зміни параметрів транспортних потоків. Наприклад, основне рівняння транспортного потоку - математична модель, яка описує взаємозв'язок між інтенсивністю, швидкістю й щільністю потоку. У порівнянні з методами натурних обстежень, методи моделювання мають більш низьку точність. Але при цьому, вони прості в застосуванні, не вимагають залучення великої кількості обліковців. Крім того методи моделювання застосовні для проєктованих об'єктів.

Основні завдання досліджень:

- провести обстеження інтенсивності, складу транспортного потоку; визначити інтенсивність руху у приведених одиницях;
- обробити результати обстежень інтенсивності, складу транспортного потоку та представити результати у вигляді підсумкових таблиць;
- побудувати картограму інтенсивності руху.

Дані отримують шляхом натурних обстежень. Спочатку вивчається схема вулично-дорожньої мережі заданого району. Вибираються перехрестя, на якому будуть проводитися обстеження. Заздалегідь до обстеження на перехресті

визначаються його параметри, кількість підходів до перехрестя, кількість смуг руху, тип дорожньої розмітки, тип дорожніх знаків, засоби світлофорного регулювання.

2.3 Методи досліджень екосистем

Для проведення досліджень екосистем необхідно за результатами натурних спостережень оцінити фізичний рівень викидів, ступінь впливу на довкілля автотранспортних потоків в конкретних міських умовах, визначити найбільш суттєві чинники.

На рис. 2.1 приведена схема, яка лягла в основу тематики дисертаційної роботи.

Для проведення досліджень були використані дані звітів про організацію схеми руху транспортних засобів в місті та його околицях, результати спостережень за рівнями фізичного і хімічного забруднення атмосферного повітря.

Експериментальні дослідження включали такі напрями збору первинного матеріалу:

- результати замірів метеорологічних даних на режимних пунктах

спостережень;

- параметри стану і профілю доріг;
- інформація про характер транспортних і пасажирських потоків;
- вільність маршрутів по трасах, схем їх розташування на карті міста;
- графіків руху по маршрутах.

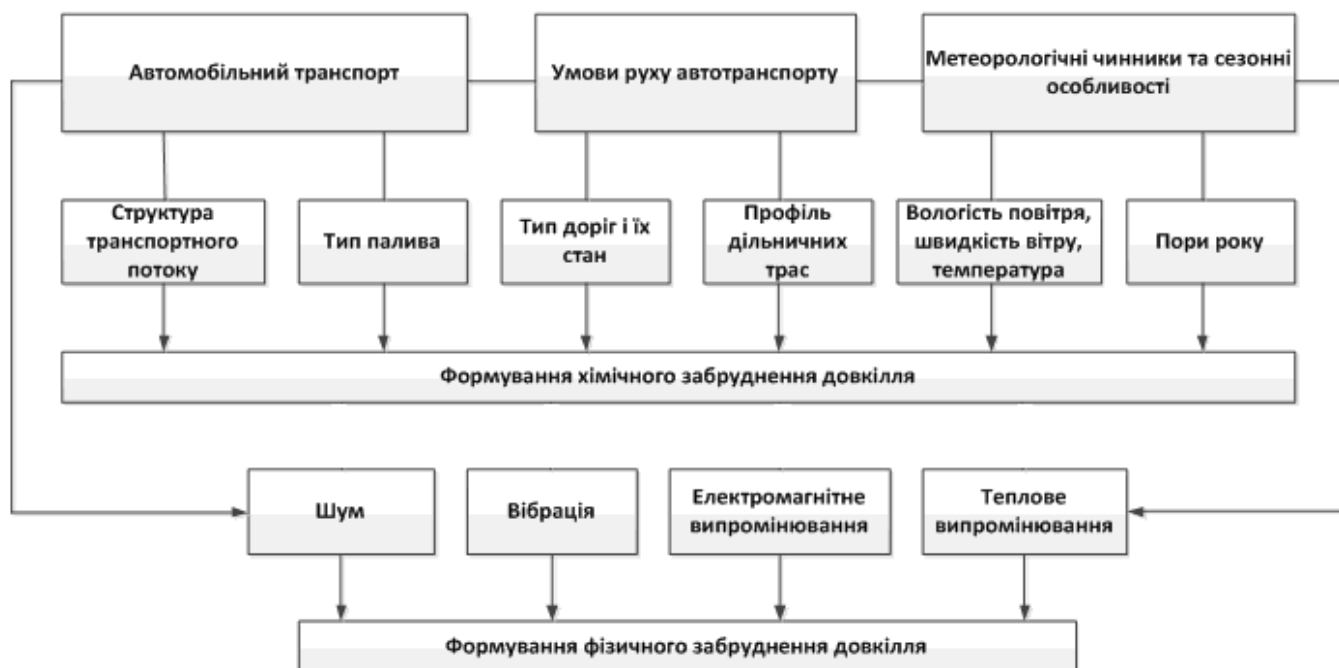


Рис. 2.1 – Схема формування хімічного і фізичного забруднення довкілля автомобільним транспортом міських агломерацій

Розрахунку кількості шкідливих речовин, що викидається автотранспортом в роботі [174] на основі експериментальних даних, одержаних при оцінці токсичних викидів автомобільних двигунів рекомендується використовувати коефіцієнти які дозволяють визначити кількість шкідливих речовин при спалюванні 1 кг палива за формулою:

$$M = k \cdot G, \quad (2.1)$$

де M – кількість виділяються шкідливих речовин, кг;

G - кількість палива, що витрачається, кг;

k - коефіцієнт, що дорівнює для бензинових двигунів $k = 0,6$ для оксиду вуглецю, $k = 0,1$ для вуглеводнів та $k = 0,04$ для діоксиду азоту; для дизельних двигунів $k = 0,1$ для оксиду вуглецю, $k = 0,03$ для вуглеводнів та $k = 0,04$ для діоксиду азоту.

З наведених даних про коефіцієнт k у формулі (1.1) можна зробити висновок, що дизельні двигуни викидають менше шкідливих речовин, ніж бензинові на одиницю палива, що спалюється, але треба враховувати, що дизельні двигуни, які встановлюються на вантажних автомобілях, як правило, мають велику потужність і витрачають на одиницю шляху більше палива, ніж в середньому автомобілі з бензиновими двигунами. Крім того, у відхідних газах

дизельних двигунів є в невеликій кількості канцерогенна речовина (бензопірен). Тому в ряді великих міст експлуатація транспорту з дизельними двигунами заборонена.

Автомагістралі з інтенсивним рухом слід розглядати як лінійне наземне джерело виділення шкідливих речовин.

Визначення середнього числа автомобілів, що знаходяться на дослідній ділянці шляху за формулою [174]:

$$N=l/\Delta l, \quad (2.2)$$

l – довжина заданої частини магістралі, м;

N - число автомашин, що знаходяться в даний момент на заданій частині магістралі;

Δl – інтервал по довжині між автомобілями, м.

Інтервал по довжині між автомобілями можна розрахувати за формулою [174]:

$$\Delta l = \Delta \tau v, \quad (2.3)$$

$\Delta \tau$ – середній інтервал за часом між автомобілями, с;

v – середня швидкість автомобілів км/год. (м/с).

Середній інтервал за часом між автомобілями виражається за формулою [174]:

$$\Delta \tau = 60/n, \quad (2.4)$$

де n – число автомобілів, що пройшли через контрольний пункт на цій частині автошляху в обидві сторони за 1 хв.

Вважаючи, що в середньому легкові і вантажні автомобілі з бензиновими двигунами витрачають 100 г палива на 1 км шляху, можна розрахувати витрату палива одного автомобіля за секунду [174]:

$$g = 0,1v. \quad (2.5)$$

Звідки витрата палива усіма автомобілями, що знаходяться на ділянці довжиною l визначають [174]:

$$G = n \cdot l / 600. \quad (2.6)$$

Знаючи загальна кількість спалюваного усіма автомобілями палива на дослідній ділянці автошляху, сумарний викид шкідливих речовин визначаємо за формулою (2.1) [174].

В якості загальноприйнятого узагальненого параметра при дослідженнях хімічного забруднення повітряного середовища взято індекс загазованості атмосфери який має такий вигляд:

$$ІЗА = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{ГДК}}{n}, \quad (2.7)$$

де M_i – фактичні концентрації i -того хімічного компонента у викидах;
 n – кількість хімічних компонентів.

Для числового аналізу це простий і універсальний показник, що дозволяє поділяти ділянки території населених пунктів за рівнем безпеки та оцінити ефективність природоохоронних заходів.

Вираз (2.7) можна застосувати на локальному рівні, тобто на певній ділянці території і не дозволяє оцінити ступінь забруднення на певній території, де проживає більша частина населення.

Одним із важливих практичних завдань є розрахунок концентрацій шкідливих речовин, що викидають автотранспортом в атмосферу.

Вибір методу розрахунку величини забруднення атмосфери залежить від виду джерел викиду (лінійні, точкові, площинні), а також від їх висоти. Згідно з [175] джерела викиду шкідливих речовин за висотою діляться на чотири класи: високі джерела, $H > 50$ м; джерела середньої висоти, $H = 10-50$ м; низькі джерела, $H = 2-10$; наземні джерела, $H \leq 2$ м.

Джерела викиду шкідливих речовин автотранспортом відносяться до точкових, середньої висоти.

За одночасної сумісної присутності в атмосфері декількох шкідливих речовин безрозмірна концентрація q визначається за формулою [175]:

$$q = \frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n}, \quad (2.8)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n ($м^2/м^3$) – розрахункові концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі в одній і тій же точці місцевості;

$ГДК_1, ГДК_2, \dots, ГДК_n$ ($м^2/м^3$) – відповідні максимальні разові гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі.

Зведена до однієї речовини концентрація C розраховується за формулою:

$$C = C_1 + C_2 \frac{\Gamma ДК_1}{\Gamma ДК_2} + \dots + C_n \frac{\Gamma ДК_1}{\Gamma ДК_n}, \quad (2.9)$$

де C_1 - концентрація речовини, до якої здійснюється зведення;

$C_1, \dots, C_n, \Gamma ДК_2, \dots, \Gamma ДК_n$ – концентрації та $\Gamma ДК$ інших речовин, що входять у групу сумачі.

Масова концентрація шкідливих речовин в атмосфері описується відомим класичним диференціальним рівнянням [175]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right), \quad (2.10)$$

де C — масова концентрація повітряної суміші;

x, y, z — система прямокутних координат, в якій вісь x збігається з напрямком вітру, а вісь z вертикальна; u - швидкість вітру;

K_x, K_y, K_z - коефіцієнти турбулентної дифузії в напрямку x, y, z відповідно.

Граничними умовами для даного рівняння є:

$$\frac{c}{t} \leq 0 = 0; \frac{c}{x^2 + y^2 + z^2} \rightarrow \infty = 0. \quad (2.11)$$

У роботі [175] наведено розв'язання для стаціонарного точкового джерела за умови нормального розподілу концентрації речовин в атмосфері:

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{\pi i x^{2-n} S_y S_z} \exp \left\{ - \left[\frac{y^2}{S_y^2 x^{2-n}} \right] \right\}, \quad (2.12)$$

де S_y, S_z - «віртуальні коефіцієнти дифузії» в напрямку координат;

n - число від 0 до 1, що визначається профілем швидкості вітру.

М.Е. Берлянд [177] одержав рівняння для точкового джерела, розташованого на висоті H . Для приземної концентрації повітряної суміші розв'язання рівняння має вигляд:

$$C_{x,y,0} = \frac{M}{(1+m)K_1\varphi_0 x^2 \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \left[\frac{u_1 H^{1+m}}{K_1(1+m^2)x} - \frac{y^2}{2\varphi_0^2 x^2} \right] \right\} \quad (2.13)$$

де K_1, u_1 - відповідні значення коефіцієнтів турбулентної дифузії та швидкості вітру; φ_0 - дисперсія в напрямку вітру.

Більшість закордонних авторів [178] для визначення концентрації шкідливих речовин використовує таку залежність для стаціонарного точкового джерела:

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}, \quad (2.14)$$

де σ_y, σ_z – горизонтальна та вертикальна дисперсії розподілу повітряної суміші.

В літературних джерелах [179] визначено, що формування зони дисперсії підпорядковується закону Гаусса, в якому значення концентрації має вигляд:

$$C(x, y, z, \tau) = \frac{M \left(\tau - \frac{x}{U_a} \right)}{2\pi U_a \sigma_y (x + x_{vy}) \sigma_z (x + x_{vz})} \cdot e^{\left\{ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2 (x + x_{vy})} \right\}} \cdot \left[e^{\left\{ -\frac{(z-h_0)^2}{2\sigma_z^2 (x + x_{vz})} \right\}} \right], \quad (2.15)$$

де C - концентрація, мг/м³;

x, y, z - координати;

τ - час, с;

M - маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу, г/с;

U_a - швидкість вітру, м/с;

σ_z - коефіцієнт поперечної дисперсії, м²/с;

σ_y - коефіцієнт поздовжньої дисперсії, м²/с;

x_{vz}, x_{vy} - відстань від джерела викиду, м.

Розрахунок концентрацій шкідливих речовин від автомобільного транспорту у приземному шарі атмосфери, а також на яку відстань вони розповсюджуються проводять за різними методиками [180, 181]

Максимальне значення приземної концентрації шкідливих речовин C_M (мг/м³) під час викиду їх автомобільним транспортом після впровадження екологічно безпечного обладнання можна оцінити за методикою [181]:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}, \quad (2.16)$$

де A - коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери, що визначає умови горизонтального та вертикального розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі $C^{2/3}$ мг, $K^{1/3}$ г;

M - маса шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, г/с;

F - безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливої речовини в атмосферному повітрі;

m, n - безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду;

H - висота джерела викиду над рівнем поверхні землі, м;

V - об'єм газоповітряної суміші, м³/с;

ΔT - різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, і температурою навколишнього атмосферного повітря, К.

Об'єм газоповітряної суміші визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} w, \quad (2.17)$$

де D - діаметр гирла джерела викиду, м;

w - середня швидкість виходу газоповітряної суміші з джерела викиду.

Коефіцієнт A приймають для несприятливих метеорологічних умов, за яких концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі від джерела викиду досягають максимального значення.

Величину ΔT в °С необхідно визначати, приймаючи температуру навколишнього атмосферного повітря T_0 , що дорівнює середній температурі зовнішнього повітря на 13-ту годину найтеплішого місяця року згідно з СНиП «Строительная климатология и геофизика», а температуру газоповітряної суміші T_z , що викидається автомобільним транспортом - за діючими технологічними нормативами.

Величину безрозмірного коефіцієнта F приймають для газоподібних шкідливих речовин - 1, а величину безрозмірного коефіцієнта m залежно від параметра f , що має розмірністю м/с²·°С:

$$f = 10^3 \frac{w^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (2.18)$$

визначаємо графічно [181].

Величину безрозмірного коефіцієнта n визначають графічно [181] в залежності від величини параметра v_M , який розраховується за формулою:

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}. \quad (2.19)$$

Аналізуючи формулу (2.16) для визначення максимальних концентрацій шкідливих речовин, можна зробити висновок, що тут не враховуються молекулярна дифузія, дисперсія, що формують ареали забруднення в атмосфері. Окрім цього, концентрація шкідливих речовин визначається тільки в приземному шарі атмосфери, а саме на висоті 2 м над поверхнею землі.

В роботах Т. В. Бровмана, В. М. Денисова, А. Б. Дьякова, В. І. Сарбаєва та ін. представлено дані про шумове забруднення довкілля автотранспортом в процесі його експлуатації, а також представлено існуючі методи дослідження взаємодії автотранспортних потоків.

Аналіз робіт П. І. Поспелова, В. В. Амбарцумяна, Л. В. Дунаєвського, О. О. Крузе, М. М. Болбаса показав, що автотранспортні потоки відіграють пріоритетну роль в шумовому забрудненню придорожнього середовища.

Вважається, що у місті 60-80% шуму створює рух транспортних засобів. Джерелами шуму під час руху транспорту є: силовий агрегат, системи впуску і випуску, агрегат трансмісії, колеса під час контакту з поверхнею дороги. Отже, погана дорога це не тільки проблема автомобілістів та транспортників, це й екологічна проблема [150].

У розвинутих країнах для зниження транспортного шуму вдаються до таких заходів [151, 152]:

- забезпечення рівномірного і вільного руху транспортних потоків;
- зниження інтенсивності руху та заборона руху вантажного транспорту у нічний час;
- перенесення транзитних магістралей і доріг для вантажного руху із житлових зон;
- побудова шумозахисних споруд та зелені насадження;
- створення на придорожній території захисних смуг;
- побудова прозорих захисних шумових екранів.

Оцінка впливу автомобілізації на навколишнє середовище повинна враховувати те, що за останні два десятиліття масштаби антропогенної діяльності значно зросли і в окремих регіонах земної кулі вже співвіднесені з величиною природних ресурсів. Забезпечуючи комфортні умови для людини, автомобілізація як категорія суспільного прогресу прямо або побічно, але неминуче негативно впливає на екологічну систему. Прямий негативний вплив транспортної системи виявляється в підвищеному шумові, різноманітних випромінюваннях, викиді шкідливих речовин і дорожньо-транспортних пригодах.

В даний час у нас і за кордоном оцінка шуму з рівнем вище 80 дБ (А) найчастіше базується на виявленні впливу шуму на органи слуху [59]. Ступінь

пошкодження їх залежить від рівня звуку і його тривалістю і від індивідуальної чутливості людини.

Від шумового забруднення придорожньої території страждають в першу чергу населення міст. Близько 30% міського населення проживає в умовах шумового дискомфорту (рівень шуму перевищує нормативний на 5-30 дБА).

На рівень шуму впливають такі фактори, як тип дорожнього покриття, ступінь його зносу і швидкість руху транспортних потоків.

Основний шум при русі автотранспортних засобів, частіше вантажних, створюється при контакті пневматики з дорожнім полотном, тому один із заходів зниження шуму полягає в розробці структури пористих асфальтобетонних покриттів [88].

При санітарній нормі рівня шуму 60 дБА [150] значення для автомобілів реально складають: для легкового автомобіля 70 - 80, для вантажних та автобусів 80 - 95, мотоциклів 85-100 дБА.

Хаотичні шуми великої інтенсивності призводять до підвищеної млявості і можуть бути причиною порушення нормального функціонування різних систем організму. Встановлено, наприклад, що підвищений рівень шуму впливає на роботу гіпофіза (збільшується рівень гормонів) і на склад крові (збільшується вміст холестерину), пришвидшується кровообіг, збудливо діє на нервову систему. При довготривалій дії підвищеного рівня шуму розвиваються нейрогенні, серцево-судинні і інші патології [150].

Наслідки дії шумових чинників на екосистеми вимагають спеціального дослідження з урахуванням місця та ролі цього фактора в системі екологічного нормування.

Як зазначалося вище небезпечні рівні шуму також мають місце в вздовж транспортних мереж та прилеглих територій у процесі руху транспортних засобів, а також їх простоїв у дорожніх заторах.

Для запобігання прояву цієї небезпеки потрібно передбачати комплекс заходів, серед яких вихідними є аналіз потенційної небезпеки шуму щодо об'єктів захисту (стадія проектування) та систематичне акустичне обстеження в процесі експлуатації автошляхів.

Для вільного звукового поля, коли рівень звукового тиску (L_p) зменшується

на 6 дБ при збільшенні удвічі відстані від джерела шуму, справедлива залежність:

$$L_{pi} = L_{p\Sigma} - 20 \lg r + 10 \lg \frac{\Phi}{2\pi} - \frac{\beta_a r}{1000}, \quad (2.20)$$

де $L_{p\Sigma}$ – сумарний рівень звукового тиску в дБ у розрахунковій точці, що розташована на відстані r (м) від джерела шуму;

β_a – коефіцієнт затухання звуку в атмосфері (дБ/км), значення якого приймаються згідно з [115].

Сумарний рівень шуму від n одночасно діючих джерел шуму визначається за формулою:

$$L_{p\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{pi}}, \quad (2.21)$$

де L_{pi} – рівень шуму одного джерела, дБ.

При випромінюванні шуму від джерела безпосередньо в оточуюче середовище (джерело на висоті) $\Phi = 1$.

Порівняння результату, отриманого з допомогою наведених залежностей, з нормативною величиною допустимого рівня шуму дає можливість оцінити величину небезпечності аналізованого чинника або констатувати відсутність.

Для постійного широкосмугового шуму цей аналіз потрібно виконувати за всіма октавними смугами середньгеометричних частот, оскільки нормативні значення рівнів шуму для них відрізняються.

У разі істотного перевищення розрахункової величини рівня шуму над нормативним значенням аналіз слід продовжити в напрямку пошуку адекватних засобів зниження рівня звукового тиску (акустичні екрани, звукоізолюючі кожухи, шумопоглинаючі покриття тощо).

Значний ефект щодо зниження рівня шуму дають лісозахисні смуги, які розміщуються з боку напрямку розповсюдження шуму на «об'єкт захисту». При ширині смуги 60-80 м та висоті дерев більше 10-15 м досягається зниження рівня шуму на 10-12 дБА.

Контроль масової концентрації компонентів - CO, NO₂ та SO₂ в повітрі здійснюємо за допомогою газоаналізаторів ЕЛАН характеристика яких подана у табл. 2.1.

Хід виконання вимірювань. Газоаналізатор встановлюється поблизу точок

відбору проби.

У режимі вимірювання натисканням на кнопку вмикаємо насос для забору проби, і дочекавшись стабілізації показань фіксуємо їх.

Контроль вуглеводнів в атмосферному повітрі здійснювали переносним фотоіонізаційний газоаналізатор КОЛІОН-1В.

Газоаналізатори КОЛІОН-1В призначений для вимірювання вмісту в повітрі парів вуглеводнів нафти і нафтопродуктів (крім метану, етану, пропану), органічних розчинників, спиртів (крім метанолу), альдегідів (крім формальдегіду), три- і тетрахлоретилену, аміаку та інших компонентів.

Таблиця 2.1 – Коротка технічна характеристика газоаналізаторів АЛЛАН

| Модифікація | Одиниці вимірювання | Діапазон вимірювання | Похибка, Δ |
|----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| ЕЛАН-СО-50 | мг/м ³ | 0–50 | $\pm 0,2C_x^*$ |
| ЕЛАН-SO ₂ | мг/м ³ | 0–20 | $\pm (1 + 0,15C_x)$ |
| ЕЛАН-NO ₂ | мг/м ³ | 0–10 | $\pm (0,055 + 0,15C_x)$ |

*C_x – виміряна концентрація

Аналізований повітря безперервно прокачується через ФІД за допомогою вбудованого компресора.

Значення концентрації в мг/м³ представляється в цифровому вигляді на рідкокристалічному індикаторі.

Таблиця 2.2 – Коротка технічна характеристика газоаналізатора КОЛІОН-1В

| Назва параметра | Значення |
|---|-----------------------------|
| Принцип вимірювання | Фотоіонізаційний |
| Відбір проби | Примусовий |
| Діапазон вимірювання, мг/м ³ | 0-2000 |
| Основна похибка, % | ±15 |
| - приведена | 0 - 10 мг/м ³ |
| - відносна | 10 - 2000 мг/м ³ |
| - довжина пробовідбірної трубки, м | від 1 до 10 |
| Маса, кг | 1,3 |

Висновки

1. Проаналізовано основні методики досліджень дорожнього руху в межах міських агломерацій.

2. На основі основних методологій дослідження екосистем розроблено схему формування хімічного і фізичного забруднення довкілля автомобільним транспортом в межах міських агломерацій.

3. Досліджено основні методи розрахунку кількості шкідливих речовин, що викидається автотранспортом, методи оцінки хімічного та фізичного формування забруднення атмосферного повітря.

4. Здійснено вибір обладнання для дослідження масової концентрації CO, NO₂, SO₂ та СН в атмосферному повітрі.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛЯ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ГУСТОНАСЕЛЕНИХ РАЙОНАХ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

3.1 Обґрунтування та вибір районів досліджень

Транспортний потік – одне з найпотужніших джерел забруднення навколишнього середовища. Крім того, транспорт – основне джерело шуму у містах, а також джерело теплового забруднення.

Гази, які виділяються внаслідок спалювання палива у двигунах внутрішнього згорання, містять більше 200 найменувань шкідливих речовин, у тому числі канцерогени. Нафтопродукти, залишки від стертих шин та гальмівних колодок, сипкі і пилові вантажі, хлориди, які використовують для посипання доріг взимку, забруднюють придорожні смуги та водні об'єкти [146].

У розвинутих країнах автомобіль вже давно став найнеобхіднішою побутовою річчю. Рівень так званої «автомобілізації» населення став одним з основних економічних показників розвитку країни і якості життя населення. Але ми забуваємо, що поняття «автомобілізації» включає в себе комплекс технічних засобів, що забезпечують рух: автомобіль та дорогу [147, 148].

У наш час автотранспорт є основним джерелом забруднення повітря у великих містах. Шкідливі речовини, під час експлуатації автотранспорту, потрапляють у повітря з вихлопними газами, випарами з паливних систем, а також під час заправки автомобіля паливом. На викиди оксидів вуглецю (вуглекислий газ і чадний газ) впливає також рельєф дороги та режим і швидкість руху автомобіля. Наприклад, якщо збільшувати швидкість авто і різко зменшувати її під час гальмування, то у вихлопних газах кількість оксидів вуглецю збільшується у 8 разів. Мінімальна кількість оксидів вуглецю виділяється при рівномірній швидкості автомобіля 60 км/год [148].

Таким чином, вміст шкідливих речовин у вихлопних газах залежить від ряду умов: режиму руху автотранспорту, рельєфу дороги, технічного стану авто та ін.

Дизельні двигуни викидають дуже багато сажі, яка утворюється як продукт згорання палива. Ця сажа містить у собі канцерогенні речовини та мікроелементи, викид яких у атмосферу просто недопустимий [146-148].

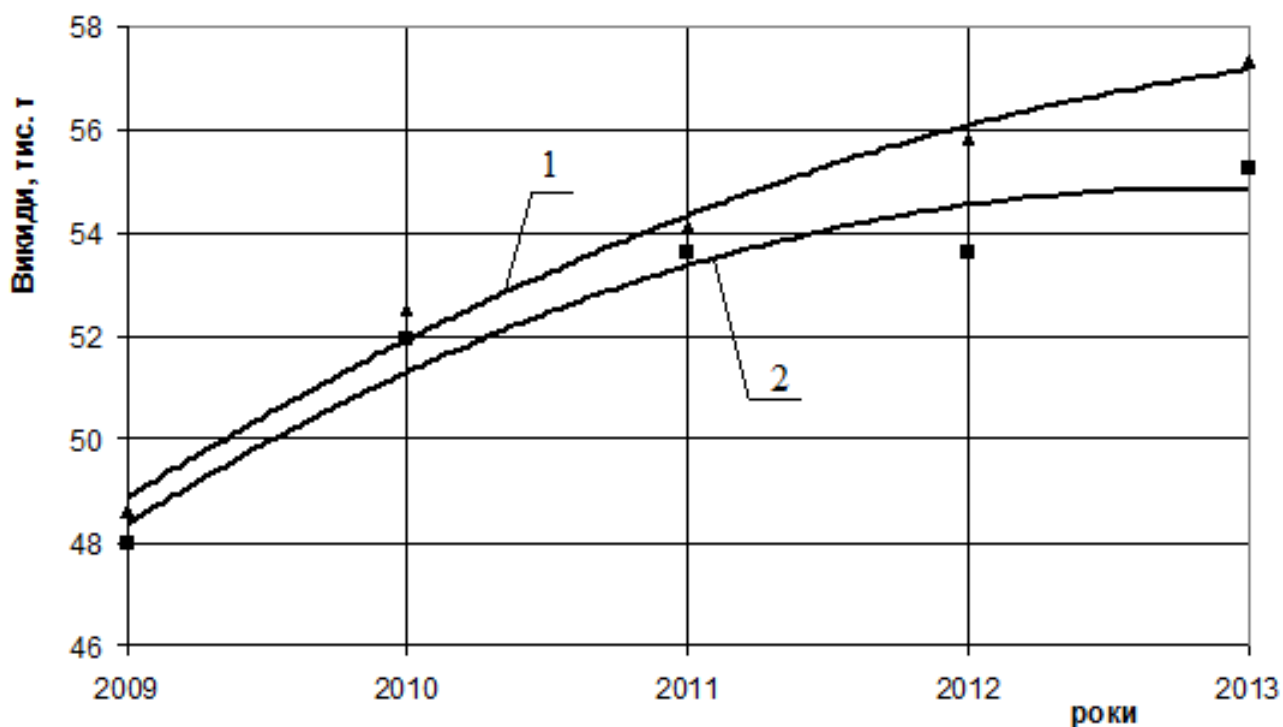
Вихлопні гази накопичуються у нижніх шарах атмосфери, тобто шкідливі речовини знаходяться в зоні дихання людини. Тому автомобільний транспорт варто віднести до категорії найнебезпечніших джерел забруднення повітря поблизу автомагістралей.

Забруднення поверхні землі транспортними і дорожніми викидами накопичується поступово, в залежності від кількості автотранспорту, що проїжджає через трасу, дорогу, магістраль і зберігається дуже довго навіть після ліквідації дорожнього полотна (закриття дороги, траси, магістралі або повна ліквідація шляху та асфальтного покриття) [145, 149].

Різні хімічні елементи, особливо метали, що накопичуються у ґрунтах, засвоюють рослини і через них по харчовому ланцюгу переходять в організм тварин і людини. Частина з них розчиняється і виноситься ґрунтовими водами, потім потрапляє в ріки, водойми і вже через питну воду може потрапити у людський організм.

Основна причина забруднення повітря полягає в неповному та нерівномірному згорянні палива у двигунах внутрішнього згорання автомобілів. Якщо оцінити витрату палива автомобіля у межах міст, то на рух автомобіля витрачається до 15 % палива, а 85 % - викиди в атмосферу. До того ж камера згорання автомобільного двигуна - це своєрідний хімічний реактор, який синтезує отруйні речовини і викидає їх в атмосферу.

На основі екологічного паспорту Івано-Франківської області мною побудовано графічну залежність викидів від пересувних джерел та автомобільного транспорту (рис. 3.1) [149].



1 – сумарні викиди від пересувних джерел; 2 – викиди від автомобільного транспорту

Рис. 3.1 – Графічна залежність викидів від пересувних джерел та автомобільного транспорту

З рис. 3.1 видно, що понад 96 % викидів від пересувних джерел припадають на автомобільний транспорт. Тому зниження рівня забруднення повітряного середовища автомобілями може суттєво покращити екологічну ситуацію в м. Івано-Франківську та області.

Найпотужніші фактори негативного впливу автотранспорту на людину і навколишнє середовище міст такі:

- забруднення повітря;
- забрудненню навколишнього середовища;
- шум;
- вібрація;
- виділення тепла (розсіювання енергії).

Джерелами забруднення повітряного басейну міст під час експлуатації автотранспорту є двигуни внутрішнього згоряння, які викидають в атмосферу відпрацьовані гази та пари паливо-повітряної суміші. У відпрацьованих газах виявлено понад 280 компонентів продуктів повного та неповного згоряння нафтових палив, а також неорганічні сполуки тих чи інших речовин, які є в паливі.

Рухаючись зі швидкістю 60-80 км/год у середньому, автомобіль перетворює у вуглекислоту стільки ж кисню, скільки 250-300 осіб. Річний вихлоп одного автомобіля — це 800 кг небезпечного оксиду вуглецю, 40 кг оксидів азоту і більше 200 кг різних вуглеводнів.

Через високу токсичність допустима концентрація оксиду вуглецю в атмосферному повітрі не повинна перевищувати 1 мг/м³.

Вуглеводні утворюються в разі неповного згоряння палива. Автотранспорт відповідає приблизно за 39 % викидів вуглеводнів в індустріально розвинених країнах. Бензинові двигуни викидають вуглеводнів більше, ніж аналогічні дизельні двигуни. Один, із найбільш небезпечних вуглеводнів — бензопірен — природний компонент сирої нафти [150-152].

Автомобілі - основне джерело чадного газу CO. Це один із найбільш токсичних сполук, що негативно впливають на здоров'я людей. Крім того, в атмосферу виділяються оксиди азоту NO і N₂O. Двоокис азоту негативно впливає і на людину, і на рослини.

Сполуки сірки SO, SO₂ викликають окиснення вод та ґрунтів, що негативно впливає на здоров'я людини та стан природних екосистем.

Альдегіди - група речовин, що з'являються у вихлопах автотранспорту в результаті неповного згоряння палива. Вони зазвичай мають їдкий запах, пов'язаний із дорожнім рухом. Альдегіди негативно впливають на здоров'я людини. Формальдегід викликає роздратування очей, носоглотки, нежить, кашель, утруднення дихання [149-152].

Сажа - це переважно маленькі частинки вугілля, абсорбуючі потенційно небезпечні речовини, зокрема полі ароматичні вуглеводи, що викликають рак. Частинки вугілля достатньо малі, щоб проникати глибоко в легені під час дихання.

Автотранспорт викидає, такі важкі метали, як нікель, ртуть, хром, кадмій, цинк, залізо, миш'як, марганець, берилій. Деякі з них (миш'як, ртуть, кадмій, свинець) можуть бути високотоксичними в дуже малих концентраціях.

Накопичення важких металів у ґрунтах змінює їх хімічні та біологічні властивості.

Метали акумулюються в живих організмах і потрапляють у харчові ланцюжки.

Важкі метали можуть залишатися, в атмосферному повітрі до 10 днів і переноситись, на відстань до 2000 км.

Склад відпрацьованих газів залежить від виду та якості застосованого палива, присадок та мастил, режимів роботи двигуна, його технічного стану, умов руху автомобіля та інших факторів. Викиди основних забруднюючих речовин значно нижчі в дизельних двигунах. Токсичність відпрацьованих газів бензинових двигунів обумовлюється насамперед вмістом оксиду вуглецю та оксидів азоту, в дизельних двигунах – оксидів азоту та сажі [149].

Проблема загазованості повітря автотранспортом постала особливо гостро останнім часом. Нерозвиненість вулично-дорожньої мережі, автотранспорт з низькими екологічними показниками, щільність потоку автотранспорту у піковий час та інші фактори привели до загострення проблеми пов'язаної з викидами автомобільного транспорту та загазованості повітря. Необхідність зниження викидів від автотранспорту є чи не найголовнішою проблемою в Україні, адже частка викидів шкідливих речовин від автотранспорту становить близько 20% від загальної маси викидів, викинутої в атмосферу.

Основними районами накопичення шкідливих речовин відпрацьованих автомобільних газів є місця з інтенсивним рухом транспорту та густонаселені частини м. Івано-Франківськ. Згідно загально-статистичних даних станом на 1 січня 2014 р. на території Івано-Франківська проживає 227,03 тис. чол., густота населення складає 2711 чол./км².

Як відомо, атмосфера над містами містить у 10 разів більше аерозолів і у 25 разів більше газів. При цьому 60-70 % газового-забруднення припадає на автотранспорт. Більш активна конденсація вологи призводить до збільшення

опадів на 5-10 %. Самоочищенню атмосфери у містах перешкоджає зниження на 10-20% сонячної радіації та швидкості вітру.

У разі малої рухливості повітря теплові аномалії над містом охоплюють шари атмосфери у 250-400 м, а контрасти температури можуть досягати 5-6 °С. З ними пов'язані температурні інверсії, що призводять до підвищеного забруднення, туманів та загазованості.

Таким чином екологічний стан районів з інтенсивним рухом транспорту міста Івано-Франківськ обумовлюється тим, що основна його частина – це вузькі вулиці, де інтенсивний рух як міського так і транзитного транспорту, що призводить до більшої загазованості атмосферного повітря і негативного впливу на здоров'я людей.

На основі наведеного вище, для дослідження нами було вибрано найбільш завантажені транспортом перехрестя по узбіччях яких містяться густонаселені райони міста.

На рис. 3.2 наведено карту м. Івано-Франківська на якій нанесено 14 найбільш небезпечних перехресть де концентрується велика кількість транспорту та населення.

За даними Відділення технагляду ДАІ на 2013 р. у м. Івано-Франківську зафіксована наступна кількість автомобілів, вантажних автомобілів та автобусів з яких - легкові автомобілі - 52%; вантажні автомобілі - 19%; автобуси - 29%.

Аналіз маркової структури показує, що для легкових автомобілів до 26% припадає на автомобілі малого класу, до 42% - на автомобілі середнього класу. Іномарки складають біля 32% від загального числа.

Легковий автомобіль середнього класу має обсяг двигуна 1,3-1,6 л і витрати палива в умовах міського циклу 10–12 л на 100 км.

Вантажні автомобілі переважно дизельні сімейства Mercedes, Renault, Fiat. На них установлені силові агрегати об'ємом 1,9-3,0 л. Середня витрата палива для них складає 25-35 л на 100 км. Автобуси при розрахунках належать до відповідного типу пасажирських автомобілів, середня витрата палива для них складає 22-36 л на 100 км.

Для визначення характеристики транспортного потоку на ділянках вулично-дорожньої мережі нами проводилось підрахунок транспортних засобів щодня

протягом десятиох днів у години пік (6.00-7.00 год., 11.00-13.00 год., 16.00-18.00 год.) у зимовий та літній періоди.

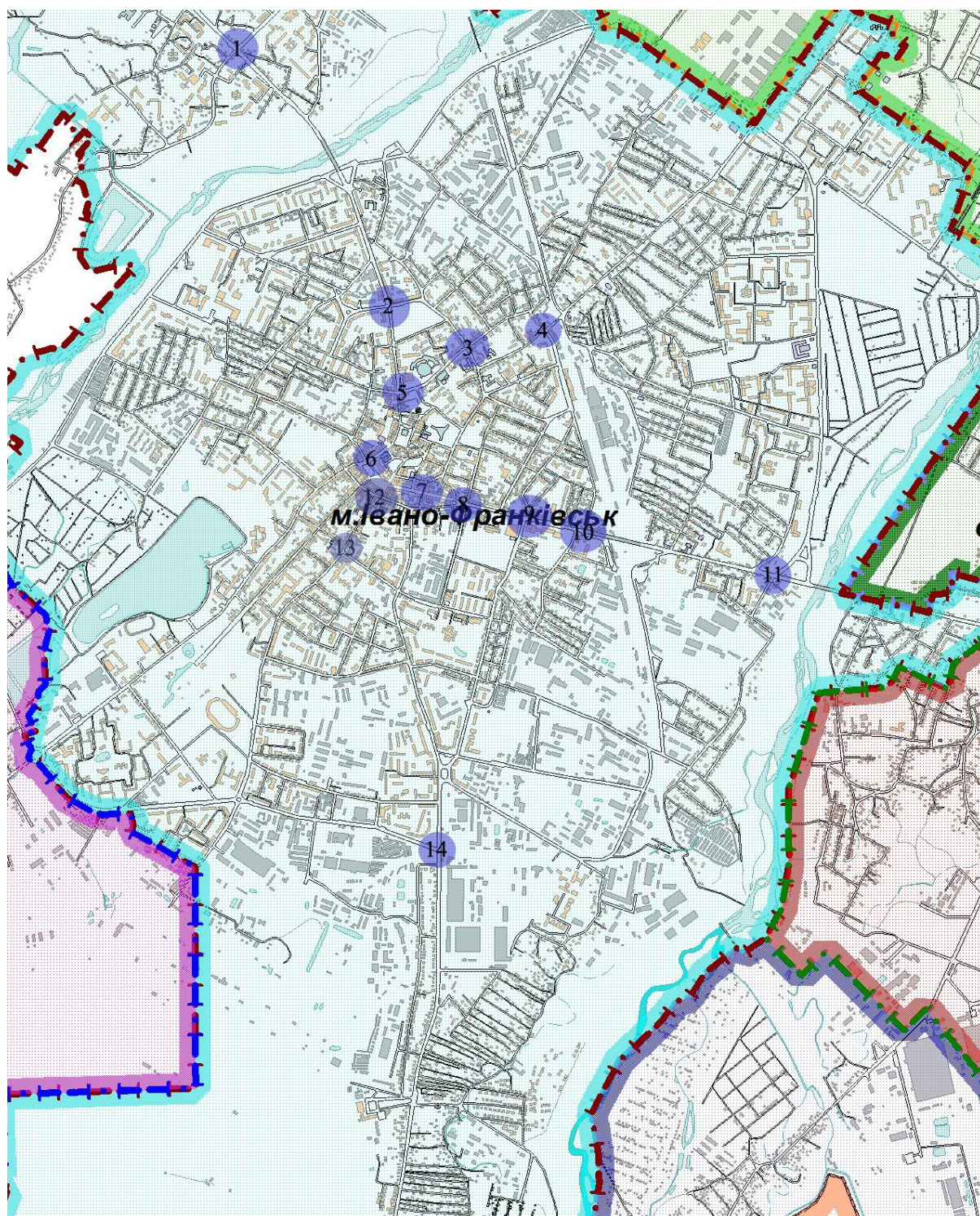


Рис. 3.2 – Карта найбільш небезпечних перехресть з великою концентрацією транспорту та населення м. Івано-Франківська

Узагальнені результати дослідження перехресть і районів у літній період подані у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Назва та характеристика перехресть обраних для дослідження

| Поз. | Назва перехрестя, району | Інтенсивність руху, авт./доб. | Густина населення в зоні перехресть |
|------|--|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Галицька, Пасічна, Калуське шосе, Тролейбусна | 46431 | 14,6 тис. |
| 2 | Васильянок, Галицька | 36431 | 7,5 тис. |
| 3 | Васильянок, Дністровська | 32423 | 5,3 тис. |
| 4 | Привокзальна, Вовчинецька | 25674 | 7,4 тис. |
| 5 | Новгородська, Галицька, Дністровська | 52224 | 3,6 тис. |
| 6 | Мазепи, Січ. Стрільців, П. Орлика, Галицька | 42128 | 7,2 тис. |
| 7 | Коновальця, Січ. Стрільців | 23360 | 3,1 тис. |
| 8 | Незалежності, Січ. Стрільців, І. Франка, А. Мельника | 32581 | 3,4 тис. |
| 9 | Незалежності, С. Бандери | 21358 | 2,8 тис. |
| 10 | Незалежності, Залізнична | 53410 | 2,7 тис. |
| 11 | Незалежності, Івасюка, Микитинецька | 58641 | 7,2 тис. |
| 12 | Чорновола, Січ. Стрільців | 23197 | 2,1 тис. |
| 13 | Чорновола, Гординського | 18542 | 5,4 тис. |
| 14 | Коновальця, Петлюри | 21335 | 12,3 тис. |

Для визначення найнебезпечніших перехресть в межах обраних дослідних ділянок за результатами табл. 3.1 побудовано гістограму густини населення та інтенсивності руху автомобільного транспорту (рис. 3.3).

Проаналізувавши рис. 3.3 і врахувавши фактор населення та інтенсивність руху можна виділити дослідні точки 1, 5, 6, 10 та 11 які будуть суттєво впливати на загальну екологічну ситуацію в м. Івано-Франківську. Отже, в подальшому

проводимо дослідження саме за цими перехрестями, для чого необхідно провести більш детальний аналіз транспортних потоків.

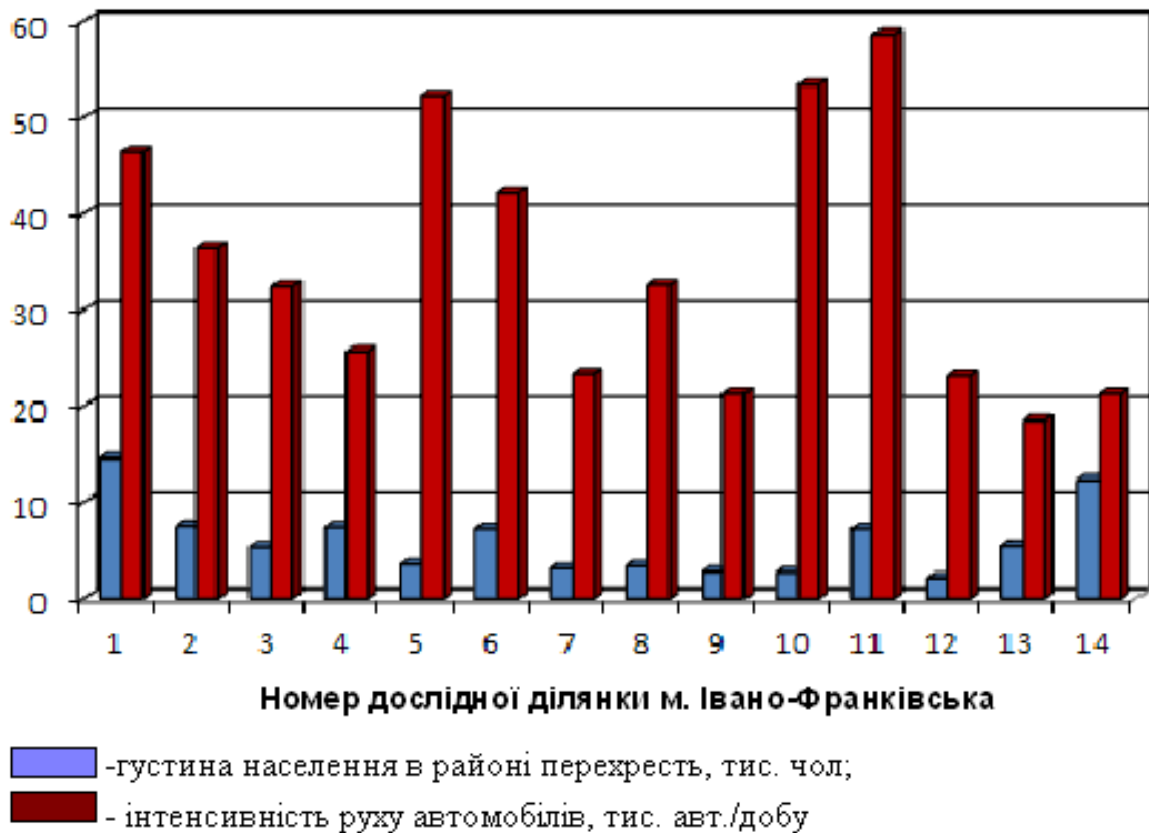


Рис. 3.3 – Густина населення та інтенсивності руху автомобільного транспорту на дослідних ділянках м. Івано-Франківська у літній період

В Україні і за кордоном зроблено огляди і проведено багаторічні дослідження з визначення залежності викидів пріоритетних шкідливих речовин автомобілями різних видів і типів від умов їх руху, які зокрема наведені в монографіях і наукових роботах Ю.Ф. Гутаревича, Я.В. Хом'яка, В.Ф. Скорченка, О.А. Белятинського, Т.І. Черв'якової та ін.

Основними небезпечними районами накопичення шкідливих речовин відпрацьованих автомобільних газів є місця з інтенсивним рухом транспорту та густонаселені частини м. Івано-Франківськ. Згідно загально-статистичних даних станом на 1 січня 2013 р. на території Івано-Франківська проживає 227,03 тис. чол., густина населення складає 2711 чол./км².

3.2 Дослідження викидів транспортних потоків на обраних ділянках м. Івано-Франківськ

Для оцінки рівнів викидів автомобільним транспортом в атмосферу на дослідних ділянках наводимо докладну характеристику транспортного потоку із поділом їх на три основних категорії: легкові, вантажні автомобілі, автобуси (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Характеристика транспортного потоку на дослідних ділянках

| Поз. | Ділянка | Кількість автотранспортних засобів, авт./год. | | | | | Всього авт./год. |
|----------------|---------|---|----------|-----------|----------|-----------|------------------|
| | | Легкові | Вантажні | | Автобуси | | |
| | | | дизельні | бензинові | дизельні | бензинові | |
| Літній період | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1006 | 283 | 84 | 409 | 152 | 1934 |
| 2 | 5 | 1131 | 318 | 95 | 462 | 170 | 2176 |
| 3 | 6 | 912 | 257 | 77 | 371 | 138 | 1755 |
| 4 | 10 | 1157 | 325 | 97 | 472 | 174 | 2225 |
| 5 | 11 | 1270 | 357 | 106 | 517 | 193 | 2443 |
| Зимовий період | | | | | | | |
| 6 | 1 | 877 | 241 | 72 | 347 | 128 | 1641 |
| 7 | 5 | 911 | 256 | 77 | 371 | 136 | 1751 |
| 8 | 6 | 690 | 194 | 57 | 281 | 103 | 1325 |
| 9 | 10 | 863 | 243 | 73 | 351 | 130 | 1660 |
| 10 | 11 | 1007 | 283 | 85 | 409 | 152 | 1936 |

Згідно даних дослідження на дослідних ділянках 1, 5, 6, 10 та 11 переважна більшість транспортних засобів це легкові автомобілі з бензиновим двигуном, що у більшості випадків не старіші 10 років і обладнані системою очищення відпрацьованих газів яка відповідає Євро-1, 2, 3.

Автобуси другі за чисельністю на обраних дослідних ділянках. Розподіляються приблизно (дизельні/бензинові) 60/40 %. Переважній більшості це

маршрутні транспортні засоби з об'ємом двигуна до 3 л та загальною пасажировмістимістю до 42 чол.

Транспортний потік вантажних автомобілів характеризується малою вантажопід'ємністю до 2,5 т та не великими об'ємами двигунів до 2,5 л, що у більшості випадків не мають каталізаторів очищення відпрацьованих газів та фільтрів сажі.

Розрахунки викидів проводили за методикою [152], за умов середньої швидкості транспортних потоків в умовах міста – 40 км/год з розрахунку г/с.

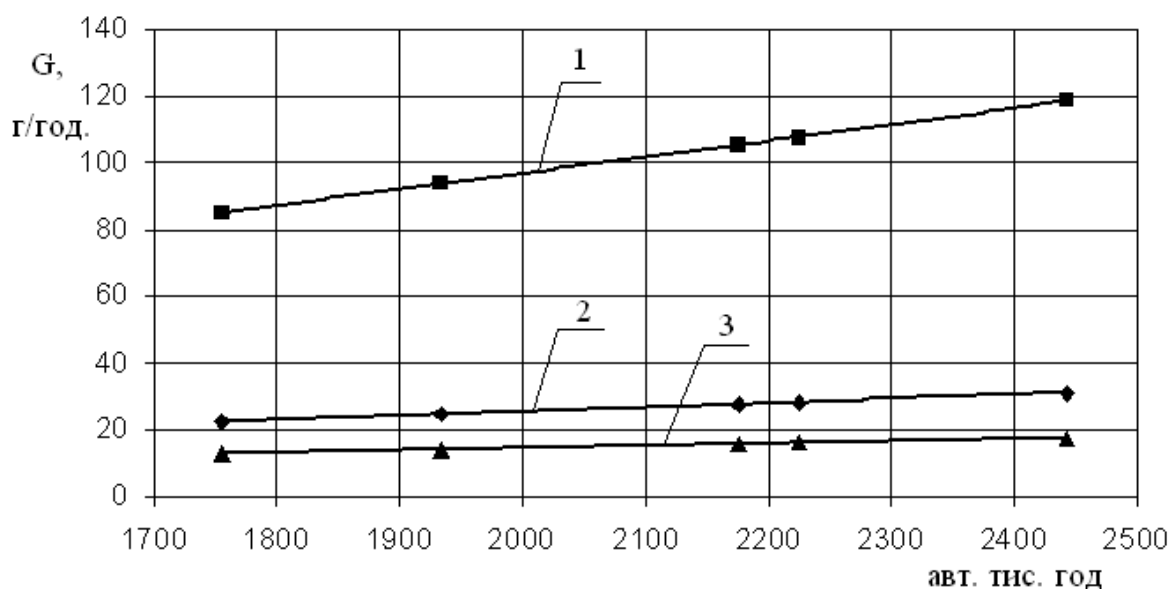
Основні параметри, що досліджувалися: викиди діоксиду азоту; оксиду вуглецю; вуглеводні.

За результатами досліджень для різних типів автомобілів, дослідних ділянок та речовин які викидаються з відпрацьованими газами залежності сумарних викидів діоксиду азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів на дослідних ділянках з врахуванням викидів окремих типів автомобілів (рис. 3.4), що рухаються у складі транспортного потоку густонаселеними районами м. Івано-Франківська в умовах заторів [143-144].

Як видно з графічних залежностей рис. 3.4 (сумарні викиди шкідливих речовин автомобілями) основним забрудником на дослідних ділянках густонаселених районів м. Івано-Франківська є оксиди вуглецю величина викидів якого становить від 85,0 до 118,4 г/год, викиди діоксидів азоту становлять від 22,3 до 31,1 г/год та викиди вуглеводнів від 12,7 до 17,7 г/год.

При чому високі викиди оксидів вуглецю характерні для ділянок де переважна більшість бензинових двигунів автомобілів всіх марок, оксиди азоту характерні для ділянок з дизельних двигунів.

Аналогічні дослідження на дослідних ділянках проведені у зимовий період. Інтенсивність руху транспортних потоків на зазначених ділянках у зимовий період наведено на рис. 3.5. Характеристика транспортного потоку на дослідних ділянках у зимовий період наведена у табл. 3.3.



1 – оксиди вуглецю; 2 – діоксиди азоту; 3 – вуглеводні

Рис. 3.4 – Сумарні викиди шкідливих речовин автомобілями на дослідних ділянках м. Івано-Франківська у літній період



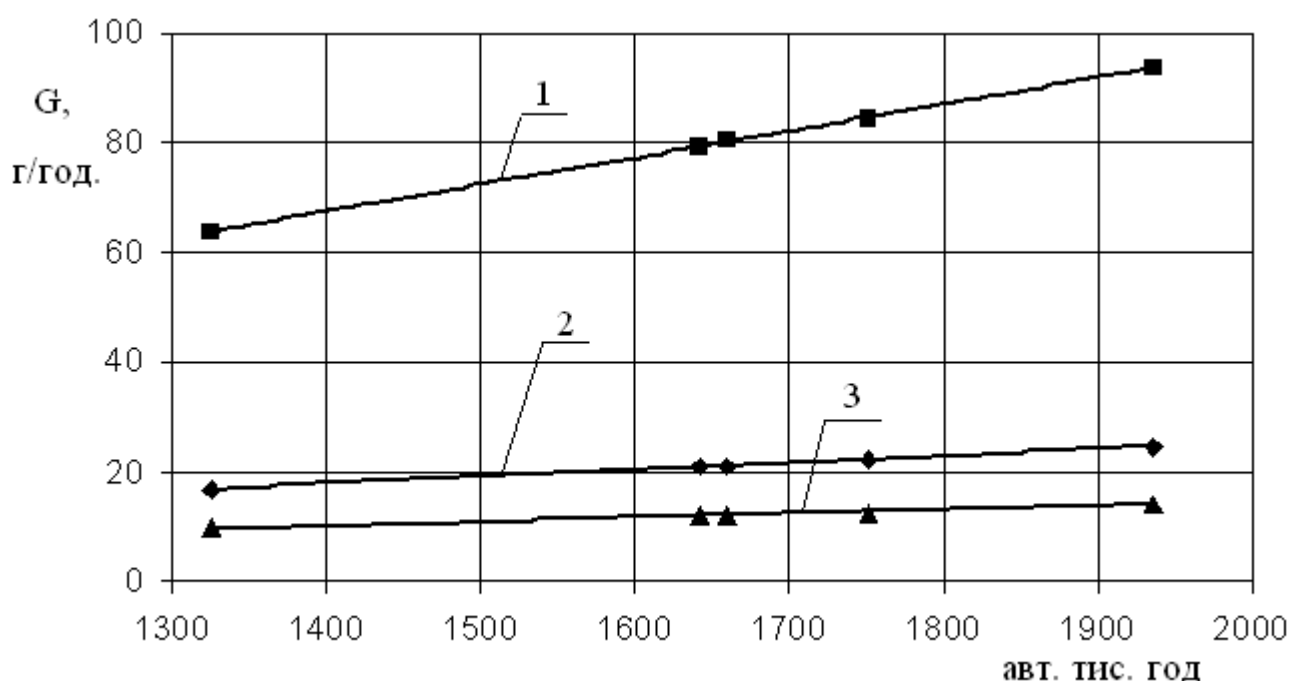
Рис. 3.5 – Густина населення та інтенсивності руху автомобільного транспорту на дослідних ділянках м. Івано-Франківська у зимовий період

Характеристика транспортного потоку на дослідних ділянках у зимовий період наведено у табл. 3.2.

Кількість викидів визначали за методикою [152].

За результатами досліджень для різних типів автомобілів, дослідних ділянок та речовин які викидаються з відпрацьованими газами подано у вигляді графічних залежностей рис. 3.6.

На рис. 3.6 побудовано сумарні викиди діоксиду азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів на дослідних ділянках з врахуванням викидів окремих типів автомобілів, що рухаються у складі транспортного потоку густонаселеними районами м. Івано-Франківська в умовах заторів.



1 – оксиди вуглецю; 2 – діоксиди азоту; 3 – вуглеводні

Рис. 3.6 – Сумарні викиди шкідливих речовин автомобілями на дослідних ділянках м. Івано-Франківська у зимовий період

Як видно з графічних залежностей рис.3.6 основним забрудником на дослідних ділянках густонаселених районів м. Івано-Франківська є оксиди вуглецю величина викидів якого становить від 63,9 до 93,8 г/год, викиди

діоксидів азоту становлять від 16,8 до 24,6 г/год та викиди вуглеводнів від 9,5 до 14,0 г/год.

Отже, на даному етапі з метою зниження викидів зазначених компонентів можна запропонувати ряд заходів зокрема:

- організації руху транспортних потоків з мінімальними простоями;
- обмеження руху зазначеними ділянками автомобілів, що не обладнані каталізаторами та фільтрами сажі;
- запобігання створенню автомобільних заторів;
- збільшення середньої швидкості руху автомобілів до 50-60 км;
- перерозподіл маршрутів міських автобусів з метою виключення їх руху через центральну частину м. Івано-Франківська;
- облаштування підземних пішохідних переходів для найбільш завантажених транспортом вулиць;
- побудова наземних розв'язок для найбільш завантажених транспортом перехресть.

3.3 Моделювання поширення забруднювальних речовин в повітрі міських агломерацій

Проаналізувавши рис. 3.2 і врахувавши фактор населення та інтенсивність руху можна виділити дослідні точки 1, 5, 6, 10 та 11 які будуть суттєво впливати на загальну екологічну ситуацію в м. Івано-Франківську.

Вихідними значеннями для прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі є дослідні дані за два роки в точці 1 (рис. 3.2) – на перехресті вулиць Галицька-Тролейбусна (таблиці 3.3, 3.4).

Для визначення характеристик автотранспортних потоків на вибраній ділянці вулично-дорожньої мережі проводився облік автотранспортних засобів, які рухалися в обох напрямках з розподілом по наступних групах:

- легкові автомобілі, з бензиновим двигуном;
- легкові автомобілі, з дизельним двигуном;
- вантажні автомобілі, з бензиновим двигуном;
- вантажні автомобілі, з дизельним двигуном;
- автобуси, з бензиновим двигуном;

- автобуси, з дизельним двигуном.

Підрахунок транспортних засобів, що проїжджали по даному перехрестку проводився на протязі 20 хвилин кожної години. При високій інтенсивності руху (більше 2 – 3 тис. автомашин в годину) підрахунок проїжджаючих автотранспортних засобів проводився синхронно окремо по кожному напрямку руху.

Для визначення максимального транспортного навантаження спостереження проводились в години «пік». Для даного перехрестя приймалося два максимуми: ранковий і вечірній (відповідно з 7 – 11 години та с 16 – 19 години).

За результатами експериментальних даних дослідження табл. 3.3 будемо графічні залежності рис. 3.7 та 3.10.

Таблиця 3.3 – Експериментальні дані дослідження вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за 2013 рік на ділянці 1

| Місяць | Легк. диз., шт | Легк. бенз., шт | Вант. диз., шт | Вант. бенз., шт | Автоб. бенз., шт | Автоб. диз., шт | Всього , шт | CO, мг/м ³ | NO ₂ мг/м ³ | CH мг/м ³ | SO ₂ мг/м ³ |
|--------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1 | 218952 | 246929 | 57431 | 26742 | 251967 | 125975 | 927996 | 3,13 | 0,09 | 0,025 | 0,026 |
| 2 | 326562 | 312786 | 84329 | 54285 | 311734 | 216853 | 1306549 | 4,4 | 0,12 | 0,03 | 0,031 |
| 3 | 339567 | 324128 | 87532 | 58621 | 362749 | 239524 | 1412121 | 4,9 | 0,136 | 0,04 | 0,032 |
| 4 | 336873 | 368354 | 83218 | 54671 | 372961 | 218496 | 1434573 | 5,1 | 0,14 | 0,039 | 0,031 |
| 5 | 367561 | 389572 | 71643 | 41866 | 343451 | 206781 | 1420874 | 5,4 | 0,126 | 0,039 | 0,031 |
| 6 | 332986 | 378612 | 75328 | 37549 | 327693 | 198669 | 1350837 | 4,76 | 0,114 | 0,037 | 0,03 |
| 7 | 298456 | 369532 | 67589 | 26431 | 263651 | 177533 | 1203192 | 4,6 | 0,102 | 0,027 | 0,02 |
| 8 | 321568 | 384523 | 74873 | 32187 | 311678 | 185462 | 1310291 | 5,07 | 0,113 | 0,03 | 0,028 |
| 9 | 373467 | 386673 | 79003 | 42622 | 312621 | 226548 | 1420934 | 6 | 0,13 | 0,04 | 0,029 |
| 10 | 327855 | 371220 | 70455 | 39781 | 366720 | 194331 | 1370362 | 5,46 | 0,12 | 0,033 | 0,031 |
| 11 | 341879 | 322853 | 78451 | 51439 | 344112 | 223471 | 1362205 | 4,62 | 0,128 | 0,035 | 0,031 |
| 12 | 210547 | 223731 | 40571 | 22760 | 237622 | 103651 | 838882 | 2,4 | 0,071 | 0,018 | 0,023 |

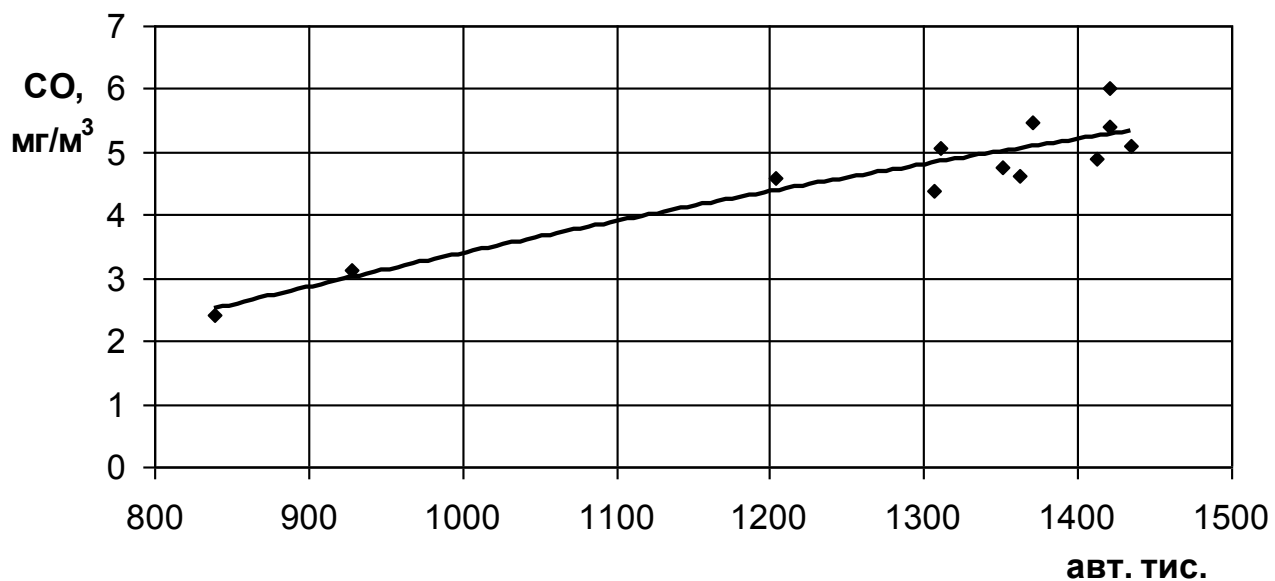


Рис. 3.7 – Графічна залежність концентрації оксидів вуглецю від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2013 році

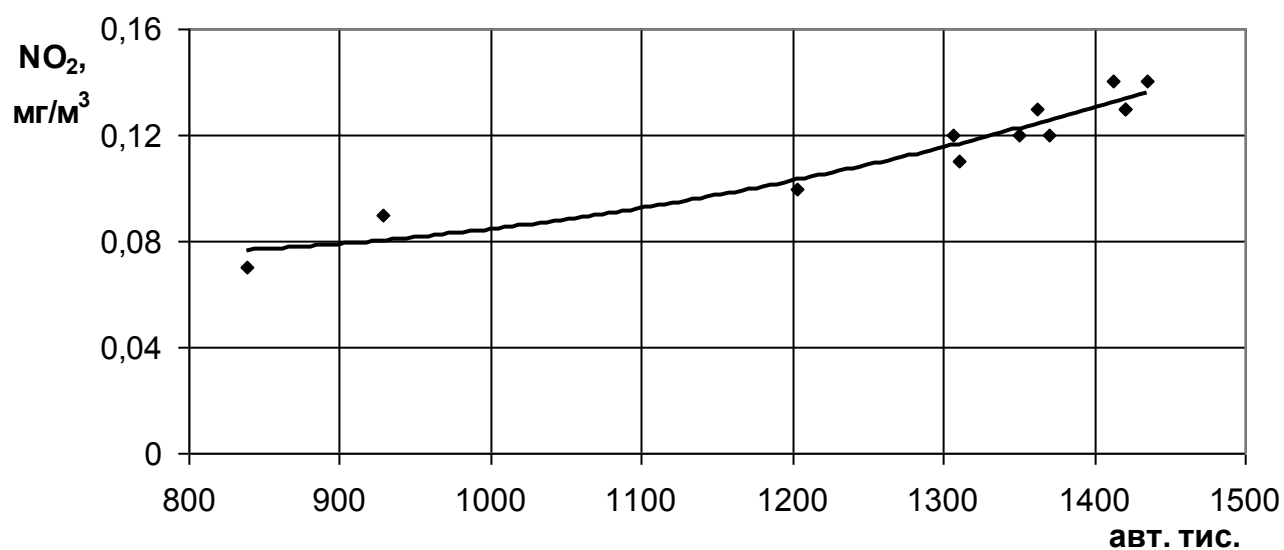


Рис. 3.8 – Графічна залежність концентрації диоксидів азоту від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2013 році

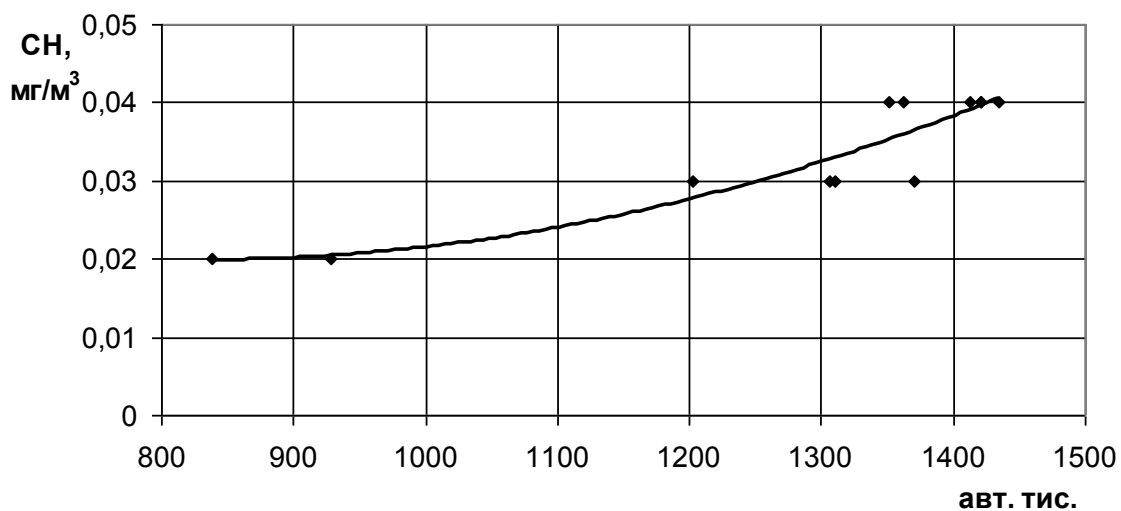


Рис. 3.9 – Графічна залежність концентрації вуглеводнів від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2013 році

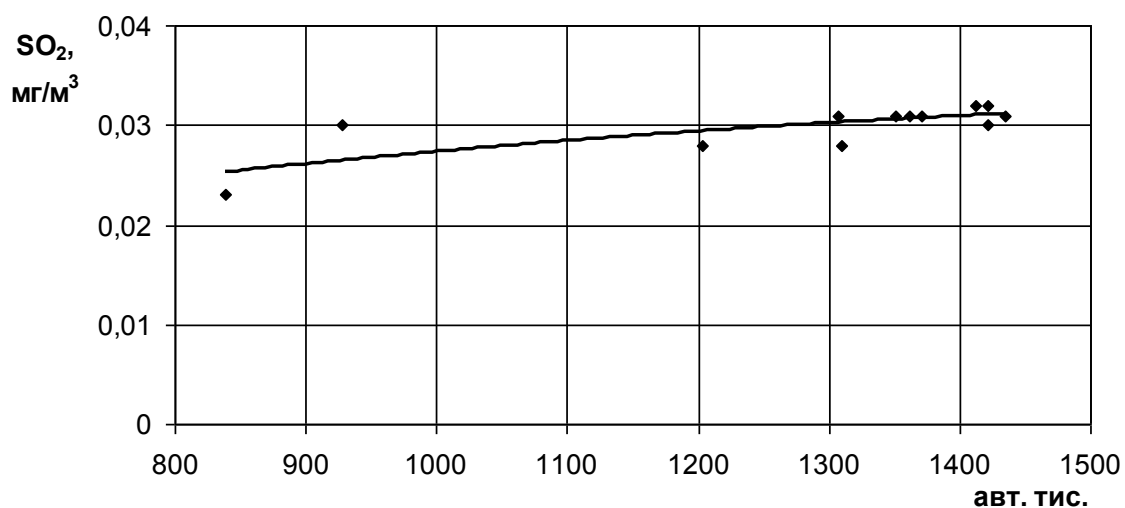


Рис. 3.10 – Графічна залежність концентрації діоксидів сірки від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2013 році

Для дослідження комплексного впливу на концентрацію сумарних викидів діоксиду азоту, оксиду вуглецю, діоксиду сірки та вуглеводнів від кількості та типу автотранспортних засобів, що проїхали через даний перехресток використаємо багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз. Він дасть змогу оцінити міру впливу на концентрацію вихлопних газів кожного з параметрів при фіксованому на середньому рівні інших параметрів. Важливою умовою тут є відсутність функціонального зв'язку між ними.

Математично завдання зводиться до знаходження аналітичного виразу, котрий якнайкраще відображував би зв'язок факторних ознак з результативною, тобто знайти функцію:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_p, a_0, a_1, \dots, a_p) \quad (3.1)$$

де a_0, a_1, \dots, a_n – коефіцієнти рівняння регресії, яка би забезпечила найменший розкид емпіричних точок відносно поверхні, що описується цією функцією.

Найскладнішою проблемою є вибір форми зв'язку, аналітичного виразу. На підставі чого за наявними факторами визначають результативну ознаку-функцію. Ця функція має краще за інші відображати реальні зв'язки між досліджуваним показником і факторами. Емпіричне обґрунтування типу функції за допомогою графічного аналізу зв'язків для багатofакторних моделей майже непридатне. Форму зв'язку можна визначати добором функцій різних типів, але це пов'язане з великою кількістю зайвих розрахунків. Зважаючи на те, що будь-яку функцію багатьох змінних шляхом логарифмування або заміни змінних можна звести до лінійного вигляду, рівняння множинної регресії можна виразити у лінійній формі:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \quad (3.2)$$

В нашому випадку за результативну ознаку приймемо відповідно концентрації вихлопних газів; за факторні ознаки приймемо відповідно кількості відповідних автотранспортних засобів. Отже шукане рівняння лінійної шестифакторної регресії матиме вид:

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5 + a_6 X_6, \quad (3.3)$$

де y — розрахункові значення результативної ознаки-функції, в нашому випадку це буде концентрація вихлопних газів; $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ — факторні ознаки, причому: x_1 — кількість легкових автомобілів, з бензиновим двигуном; x_2 —

кількість легкових автомобілів, з дизельним двигуном;; x_3 – кількість вантажних автомобілів, з бензиновим двигуном; x_4 – кількість вантажних автомобілів, з дизельним двигуном; x_5 – кількість автобусів, з бензиновим двигуном; x_6 – кількість автобусів, з дизельним двигуном; $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ – параметри рівняння, які обчислимо методом найменших квадратів, розв'язавши систему нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 + a_3 \sum x_3 + a_4 \sum x_4 + a_5 \sum x_5 + a_6 \sum x_6 = \sum y; \\ a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 + a_3 \sum x_1 x_3 + a_4 \sum x_1 x_4 + a_5 \sum x_1 x_5 + a_6 \sum x_1 x_6 = \sum x_1 y; \\ a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2 + a_3 \sum x_2 x_3 + a_4 \sum x_2 x_4 + a_5 \sum x_2 x_5 + a_6 \sum x_2 x_6 = \sum x_2 y; \\ a_0 \sum x_3 + a_1 \sum x_1 x_3 + a_2 \sum x_2 x_3 + a_3 \sum x_3^2 + a_4 \sum x_3 x_4 + a_5 \sum x_3 x_5 + a_6 \sum x_3 x_6 = \sum x_3 y; \\ a_0 \sum x_4 + a_1 \sum x_1 x_4 + a_2 \sum x_2 x_4 + a_3 \sum x_3 x_4 + a_4 \sum x_4^2 + a_5 \sum x_4 x_5 + a_6 \sum x_4 x_6 = \sum x_4 y; \\ a_0 \sum x_5 + a_1 \sum x_1 x_5 + a_2 \sum x_2 x_5 + a_3 \sum x_3 x_5 + a_4 \sum x_4 x_5 + a_5 \sum x_5^2 + a_6 \sum x_5 x_6 = \sum x_5 y; \\ a_0 \sum x_6 + a_1 \sum x_1 x_6 + a_2 \sum x_2 x_6 + a_3 \sum x_3 x_6 + a_4 \sum x_4 x_6 + a_5 \sum x_5 x_6 + a_6 \sum x_6^2 = \sum x_6 y. \end{cases} \quad (3.4)$$

Кожний коефіцієнт рівняння вказує на ступінь впливу відповідного фактора на результативний показник при фіксованому положенні решти факторів, тобто як зі зміною окремого фактора на одиницю змінюється результативний показник.

Вибірковий коефіцієнт кореляції та вибіркові оцінки $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ параметрів регресії, які обчислені по обмеженому числу експериментальних даних, завжди містять елементи випадковості, та самі по своїй суті, є випадковими величинами. В зв'язку з цим виникає потреба перевірки значимості цих вибіркових характеристик.

Критерій перевірки адекватності функції регресії полягає в перевірці значимості коефіцієнта множинної кореляції R . Для цього висувається гіпотеза $H_0: R^2=0$ про те, що коефіцієнт детермінації R^2 генеральної сукупності, з якої одержана дана вибірка, рівний нулю. Ця гіпотеза рівносильна гіпотезі $H_0: a_0=a_1=a_2=a_3=a_4=a_5=a_6=0$, про те жоден із факторів включених в регресію не має суттєвого (значимого) впливу на відгук y . В якості альтернативи розглянемо гіпотезу $H_1: R^2 \neq 0$, тобто хоча б один з коефіцієнтів регресії $a_i \neq 0$. При перевірці цієї гіпотези використовується статистика:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-p}{p-1}, \quad (3.5)$$

де n – кількість спостережень, по яких обчислювалось значення R , p – число параметрів регресії. При перевірці гіпотези H_0 використовується правостороння критична область $\Omega [f(\alpha; p-1; n-p), \infty]$, де $F_{кр} = f(\alpha; p-1; n-p)$ критичне значення порядку α розподілу Фішера-Снедекера з $(p-1)$ та $(n-p)$ ступенями вільності.

Тоді правостороння критична область визначається нерівністю $f > F_{кр}$, а область прийняття нульової гіпотези – нерівністю $f < F_{кр}$. Якщо обчислене значення f статистики більше за її критичне значення $F_{кр}$, тобто $f > F_{кр}$, то тоді нульова гіпотеза H_0 відхиляється та приймається альтернативна гіпотеза H_1 . В цьому випадку коефіцієнт детермінації R^2 суттєво відрізняється від нуля, функція регресії статистична значима та адекватно описує вихідні дані.

Ступінь впливу кожної з ознак, що входить в (3) оцінювати будемо на основі перевірки гіпотези про статистичну значимість коефіцієнта рівняння регресії, що відповідає даній ознаці.

Для цього висувається гіпотеза $H_0: a_i=0$, про те, що фактор x_i , не має суттєвого впливу на відгук y . В якості альтернативи висувається гіпотеза $H_1: a_i \neq 0$. При перевірці даної гіпотези використовується двохстороння область $\Omega: (|T| \geq t(\alpha/2; n-p))$, де $T = t(\alpha/2; n-p)$ - критичне значення порядку $\alpha/2$ розподілу Стьюдента з $(n-p)$ ступенями вільності.

Якщо $t_i \leq T_{кр}$ приймається гіпотеза $H_0: a_i=0$, в протилежному випадку вважається, що цей коефіцієнт відмінний від нуля.

Враховуючи, що об'єм даних є порівняно великий для знаходження коефіцієнтів рівняння регресії застосуємо програму Excel, так як там є вбудовані статистичні функції, які дають змогу це швидко зробити. Розрахунки будемо проводити окремо для оксидів вуглецю CO, азоту NO₂, сірки SO₂ та вуглеводнів СН. Результати розрахунків подано у табл. 3.4-3.11.

Таблиця 3.4 – Оксид вуглецю CO(2013)

| | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|
| $3,12524 \cdot 10^{-5}$ | $1,58101 \cdot 10^{-5}$ | -0,000108872 | $1,44834 \cdot 10^{-5}$ | $-1,40348 \cdot 10^{-5}$ | $6,46997 \cdot 10^{-6}$ | 4,141839001 |
| $1,58577 \cdot 10^{-5}$ | $4,87854 \cdot 10^{-6}$ | $3,67525 \cdot 10^{-5}$ | $3,16138 \cdot 10^{-5}$ | $6,99962 \cdot 10^{-6}$ | $9,99331 \cdot 10^{-6}$ | 1,01508043 |
| 0,9542 | 0,241512841 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 17,36 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 6,076024405 | 0,291642262 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: $a_0=4,141839001$; $a_1 = 6,46997 \cdot 10^{-6}$; $a_2 = -1,40348 \cdot 10^{-5}$; $a_3 = 1,44834 \cdot 10^{-5}$; $a_4 = -0,000108872$; $a_5 = 1,58101 \cdot 10^{-5}$; $a_6 = 3,12524 \cdot 10^{-5}$; коефіцієнт детермінації: $R^2=0,9542$; розрахункове значення статистики $F=17,36$; число спостережень $n=12$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p=7$; число ступенів вільності знаменника $p-1=6$; число ступенів вільності чисельника $n-p=5$; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ϵ : $SE_{y_0}=1,01508043$; $SE_{y_1}=9,99331 \cdot 10^{-6}$; $SE_{y_2}=6,99962 \cdot 10^{-6}$; $SE_{y_3}=3,16138 \cdot 10^{-5}$; $SE_{y_4}=3,67525 \cdot 10^{-5}$; $SE_{y_5}=4,87854 \cdot 10^{-6}$; $SE_{y_6}=1,58577 \cdot 10^{-5}$; дисперсія ϵ : $SE_y^2 = 0,241512841$; сума квадратів, зумовлена регресією : $SS_{\text{рег.}} = 6,076024405$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 0,291642262$.

Рівняння регресії запишеться:

$$C_{\text{CO}} = 4,141839001 + 6,46997 \cdot 10^{-6}x_1 - 1,40348 \cdot 10^{-5}x_2 + 1,44834 \cdot 10^{-5}x_3 - 0,000108872x_4 + 1,58101 \cdot 10^{-5}x_5 + 3,12524 \cdot 10^{-5}x_6. \quad (3.6)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задасмося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p-1=6$ та $n-p=5$ тобто будемо мати $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 17,36$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95 \leq F = 17,36$, тобто $F_{\text{кр}} \leq F$ що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = a_6 = 0$ про відсутність регресійної залежності

між змінними C_{CO} та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що протирічить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Заданося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стьюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{кр.} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення

статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i . Результат подано в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнтів регресії для CO

| a_i | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 |
|-------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| t | 4,080306228 | 0,647429763 | -2,005075304 | 0,458135006 | -2,962295561 | 3,240750483 | 1,970797859 |

Не всі обчислені значення, за абсолютною величиною більші за його критичне значення. Тобто, для коефіцієнтів a_1, a_2, a_3 і a_6 ці значення менші, тобто параметри, біля яких вони стоять, а саме кількість легкових автомобілів з бензиновим двигуном; кількість легкових автомобілів, з дизельним двигуном; кількість вантажних автомобілів, з бензиновим двигуном та кількість автобусів, з дизельним двигуном не мають суттєвого впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація оксиду вуглецю C_{CO} .

Таблиця 3.6 – Оксиду азоту NO_2 (2013)

| | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------|
| $1,10808 \cdot 10^{-7}$ | $-3,49816 \cdot 10^{-7}$ | $3,11257 \cdot 10^{-6}$ | $-2,10713 \cdot 10^{-6}$ | $5,882 \cdot 10^{-7}$ | $-3,53302 \cdot 10^{-7}$ | 0,146914115 |
| $2,3661 \cdot 10^{-7}$ | $7,27917 \cdot 10^{-8}$ | $5,48378 \cdot 10^{-7}$ | $4,71704 \cdot 10^{-7}$ | $1,0444 \cdot 10^{-7}$ | $1,49108 \cdot 10^{-7}$ | 0,015145818 |
| 0,9146 | 0,003603566 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 8,9263 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 0,000695488 | $6,49284 \cdot 10^{-5}$ | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: $a_0=0,146914115$; $a_1 = -3,53302 \cdot 10^{-7}$; $a_2 = 5,882 \cdot 10^{-7}$; $a_3 = -2,10713 \cdot 10^{-6}$; $a_4 = 3,11257 \cdot 10^{-6}$; $a_5 = -3,49816 \cdot 10^{-7}$; $a_6 = 1,10808 \cdot 10^{-7}$; коефіцієнт детермінації: $R^2=0,9146$; розрахункове значення статистики $F=8,9263$; число спостережень $n=12$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p=7$; число ступенів вільності знаменника $p-1=6$; число ступенів вільності чисельника $n-p=5$; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ε : $SE_{y_0}=0,015145818$; $SE_{y_1}=1,49108 \cdot 10^{-6}$; $SE_{y_6}=2,3661 \cdot 10^{-7}$; дисперсія ε : $SE_y^2 = 0,003603566$; сума квадратів, зумовлена регресією : $SS_{\text{рег.}} = 0,000695488$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 6,49284 \cdot 10^{-5}$.

Рівняння регресії запишеться:

$$C_{\text{NO}_2} = 0,146914115 - 3,53302 \cdot 10^{-7} x_1 + 5,882 \cdot 10^{-7} x_2 - 2,10713 \cdot 10^{-6} x_3 + 3,11257 \cdot 10^{-6} x_4 - 3,49816 \cdot 10^{-7} x_5 + 1,10808 \cdot 10^{-7} x_6 \quad (3.7)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задамося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p-1=6$ та $n-p=5$ тобто будемо мати $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 8,9263$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95 \leq F = 8,9263$, тобто $F_{\text{кр}} \leq F$ що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = a_6 = 0$ про відсутність регресійної залежності між змінними C_{NO_2} та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що протирічить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Задамося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{\text{кр.}} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i . Результат подано в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Значення коефіцієнтів регресії для NO₂

| a _i | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| t | 9,699978901 | -2,369433996 | 5,631947074 | -4,46706903 | 5,675968749 | 4,805713687 | 0,468313082 |

Не всі обчислені значення, за абсолютною величиною більші за його критичне значення. Тобто, для коефіцієнтів a₁ і a₆ ці значення менші, і параметри, біля яких вони стоять, а саме кількість легкових автомобілів, з бензиновим двигуном та кількість автобусів, з дизельним двигуном не мають суттєвого впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація оксиду азоту NO₂.

Таблиця 3.8 – Оксид сірки SO₂(2013)

| | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------|
| 3,63821·10 ⁻⁷ | -1,68538·10 ⁻⁸ | 3,05224·10 ⁻⁷ | -4,72374·10 ⁻⁷ | 7,72122·10 ⁻⁸ | -2,03592·10 ⁻⁷ | 0,039613 |
| 1,02364·10 ⁻⁷ | 3,14917·10 ⁻⁸ | 2,37244·10 ⁻⁷ | 2,04072·10 ⁻⁷ | 4,51836·10 ⁻⁸ | 6,45084·10 ⁻⁸ | 0,006553 |
| 0,96094 | 0,001559004 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 20,4988 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 0,000298934 | 1,21525·10 ⁻⁵ | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: a₀=0,039613; a₁ = -2,03592·10⁻⁷; a₂ =7,72122·10⁻⁸; a₃ =-4,72374·10⁻⁷; a₄ =3,05224·10⁻⁷; a₅ =-1,68538·10⁻⁸; a₆ =3,63821·10⁻⁷; коефіцієнт детермінації: R²=0,9609; розрахункове значення статистики F=20,4988; число спостережень n=12; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника p=7; число ступенів вільності знаменника p-1=6; число ступенів вільності чисельника n-p=5; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ε: SE_{y0}=0,006553; SE_{y1}=6,45084·10⁻⁸; SE_{y2}=4,51836·10⁻⁸; SE_{y3}=2,04072·10⁻⁷; SE_{y4}=2,37244·10⁻⁷; SE_{y5}=3,14917·10⁻⁸; SE_{y6}=1,02364·10⁻⁷; дисперсія ε: SE_y² = 0,001559004; сума квадратів, зумовлена регресією : SS_{пер.}= 0,000298934; сума квадратів залишків: SS_{зал.}= 1,21525·10⁻⁵.

Рівняння регресії запишеться:

$$SO_2 = 0,039613 - 2,03592 \cdot 10^{-7} x_1 + 7,72122 \cdot 10^{-8} x_2 - 4,72374 \cdot 10^{-7} x_3 +$$

$$+3,05224 \cdot 10^{-7} x_4 - 1,68538 \cdot 10^{-8} x_5 + 3,63821 \cdot 10^{-7} x_6 \quad (3.8)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задамося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p-1=6$ та $n-p=5$ тобто будемо мати $F_{кр} = f(0,05;6;5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 20,4988$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{кр} = f(0,05;6;5) = 4,95 \leq F = 20,4988$, тобто $F_{кр} \leq F$ що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0=a_1=a_2=a_3=a_4=a_5=a_6=0$ про відсутність регресійної залежності між змінними CNO та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що суперечить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Задамося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стьюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{кр} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i .

Таблиця 3.9 – Значення коефіцієнтів регресії для SO_2

| a_i | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 |
|-------|----------|-------------|-------------|--------------|-----------|--------------|-------------|
| t | 6,045499 | 3,156060558 | 1,708852297 | -2,314738779 | 1,2865452 | -0,535182576 | 3,554182534 |

Не всі обчислені значення, за абсолютною величиною більші за його критичне значення, для коефіцієнтів a_2, a_3, a_4 і a_6 ці значення менші, і параметри, біля яких вони стоять, а саме кількість легкових автомобілів, з дизельним двигуном, кількість вантажних автомобілів, з бензиновим двигуном, кількість вантажних автомобілів, з дизельним двигуном та кількість автобусів, з дизельним двигуном не мають суттєвого впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація оксиду сірки SO_2 .

Таблиця 3.10 – Вуглеводні СН(2013)

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|
| $-3,85243 \cdot 10^{-7}$ | $-2,02801 \cdot 10^{-7}$ | $1,99258 \cdot 10^{-6}$ | $-7,6196 \cdot 10^{-7}$ | $2,12811 \cdot 10^{-7}$ | $2,2113 \cdot 10^{-7}$ | 0,031884 |
| $1,42376 \cdot 10^{-7}$ | $4,38011 \cdot 10^{-8}$ | $3,29977 \cdot 10^{-7}$ | $2,8384 \cdot 10^{-7}$ | $6,28449 \cdot 10^{-8}$ | $8,97233 \cdot 10^{-8}$ | 0,009114 |
| 0,9745 | 0,002168383 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 31,8623 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 0,000898877 | $2,35094 \cdot 10^{-5}$ | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: $a_0=0,031884$; $a_1=2,2113 \cdot 10^{-7}$; $a_2=2,12811 \cdot 10^{-7}$; $a_3=-7,6196 \cdot 10^{-7}$; $a_4=1,99258 \cdot 10^{-6}$; $a_5=-2,02801 \cdot 10^{-7}$; $a_6=-3,85243 \cdot 10^{-7}$; коефіцієнт детермінації: $R^2=0,9745$; розрахункове значення статистики $F=31,8623$; число спостережень $n=12$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p=7$; число ступенів вільності знаменника $p-1=6$; число ступенів вільності чисельника $n-p=5$; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ε : $SE_{y_0}=0,009114$; $SE_{y_1}=8,97233 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_2}=6,28449 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_3}=2,8384 \cdot 10^{-7}$; $SE_{y_4}=3,29977 \cdot 10^{-7}$; $SE_{y_5}=4,38011 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_6}=1,42376 \cdot 10^{-7}$; дисперсія ε : $SE_y^2 = 0,002168383$; сума квадратів, зумовлена регресією : $SS_{\text{рег.}} = 0,000898877$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 2,35094 \cdot 10^{-5}$.

Рівняння регресії запишеться:

$$C_{\text{СН}} = 0,031884 + 2,2113 \cdot 10^{-7} x_1 + 2,12811 \cdot 10^{-7} x_2 - 7,6196 \cdot 10^{-7} x_3 + 1,99258 \cdot 10^{-6} x_4 - 2,02801 \cdot 10^{-7} x_5 - 3,85243 \cdot 10^{-7} x_6 \quad (3.9)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задася рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p-1=6$ та $n-p=5$ тобто будемо мати $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 31,8623$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95 \leq F = 31,8623$, тобто $F_{\text{кр}} \leq F$ що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0=a_1=a_2=a_3=a_4=a_5=a_6=0$ про відсутність регресійної

залежності між змінними C_{CH} та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що протирічить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Заданося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стьюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{кр.} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i .

Таблиця 3.11 – Значення коефіцієнтів регресії для CH

| a_i | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 |
|-------|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| t | 3,498505 | 2,464577608 | 3,386289809 | -2,684472656 | 6,038556981 | -4,630032638 | -2,705815029 |

Обчислені значення, за абсолютною величиною більші за його критичне значення, тобто, всі коефіцієнти мають суттєвий впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація вуглеводнів CH .

Аналізуючи одержані результати можна прийти до висновку: найбільший вплив на концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі має відповідно кількість вантажних автомобілів з дизельним двигуном, та автобусів з бензиновим двигуном. Дещо менший вплив мають легкові автомобілів, вантажні автомобілі з дизельним двигуном та зовсім незначний вплив кількість автобусів з бензиновим двигуном.

На вуглеводні суттєвий вплив мають всі групи автомобілів.

На концентрацію відповідно оксидів вуглецю CO суттєво впливають автобуси з бензиновим двигуном, а на концентрацію азоту NO_2 мають вплив автобуси та вантажівки з дизельним двигуном.

Проаналізувавши одержані результати зробили зміну організації руху на вказаному перехрестку, розвантаживши його частково за рахунок віднесеного правого повороту та встановлення додаткових секцій світлофору. В 2014 провели

дослідження аналогічні до досліджень проведених у 2013 році. Результати спостережень представлено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Дані спостережень за вмістом забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за 2014 рік

| Місяць | Легк. диз., шт | Легк. бенз., шт | Вант. диз., шт | Вант. бенз., шт | Автоб. бенз., шт | Автоб. диз., шт | Всього, шт | CO, мг/м ³ | NO ₂ , мг/м ³ | CH, мг/м ³ | SO ₂ , мг/м ³ |
|--------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1 | 248180 | 254921 | 68421 | 37833 | 269138 | 126761 | 1005254 | 2,5 | 0,056 | 0,025 | 0,026 |
| 2 | 357742 | 341127 | 92154 | 66531 | 326944 | 239366 | 1423864 | 3,82 | 0,064 | 0,031 | 0,028 |
| 3 | 345761 | 339881 | 91348 | 63129 | 372651 | 241672 | 1454442 | 3,5 | 0,062 | 0,03 | 0,03 |
| 4 | 341654 | 371332 | 81570 | 58901 | 386441 | 224673 | 1464571 | 4 | 0,06 | 0,032 | 0,027 |
| 5 | 374211 | 396213 | 77512 | 46833 | 359650 | 219563 | 1473982 | 3,76 | 0,061 | 0,031 | 0,027 |
| 6 | 339873 | 382310 | 78563 | 42980 | 331278 | 201942 | 1376946 | 3,7 | 0,062 | 0,031 | 0,029 |
| 7 | 301546 | 371430 | 78429 | 28573 | 272976 | 178337 | 1231291 | 3,25 | 0,06 | 0,028 | 0,029 |
| 8 | 333101 | 387641 | 77660 | 34651 | 326782 | 188622 | 1348457 | 3,4 | 0,061 | 0,03 | 0,029 |
| 9 | 389027 | 388632 | 83765 | 45984 | 319331 | 231239 | 1457978 | 3,8 | 0,062 | 0,029 | 0,029 |
| 10 | 336823 | 378454 | 73481 | 40931 | 369740 | 218491 | 1417920 | 3,44 | 0,061 | 0,029 | 0,03 |
| 11 | 347612 | 340613 | 80554 | 49329 | 351845 | 224576 | 1394529 | 3,53 | 0,063 | 0,029 | 0,03 |
| 12 | 212562 | 235901 | 42781 | 23894 | 245387 | 115340 | 875865 | 2,32 | 0,054 | 0,024 | 0,022 |

Аналогічно, за результатами експериментальних даних дослідження табл. 3.4 будемо графічні залежності рис. 3.11 та 3.14.

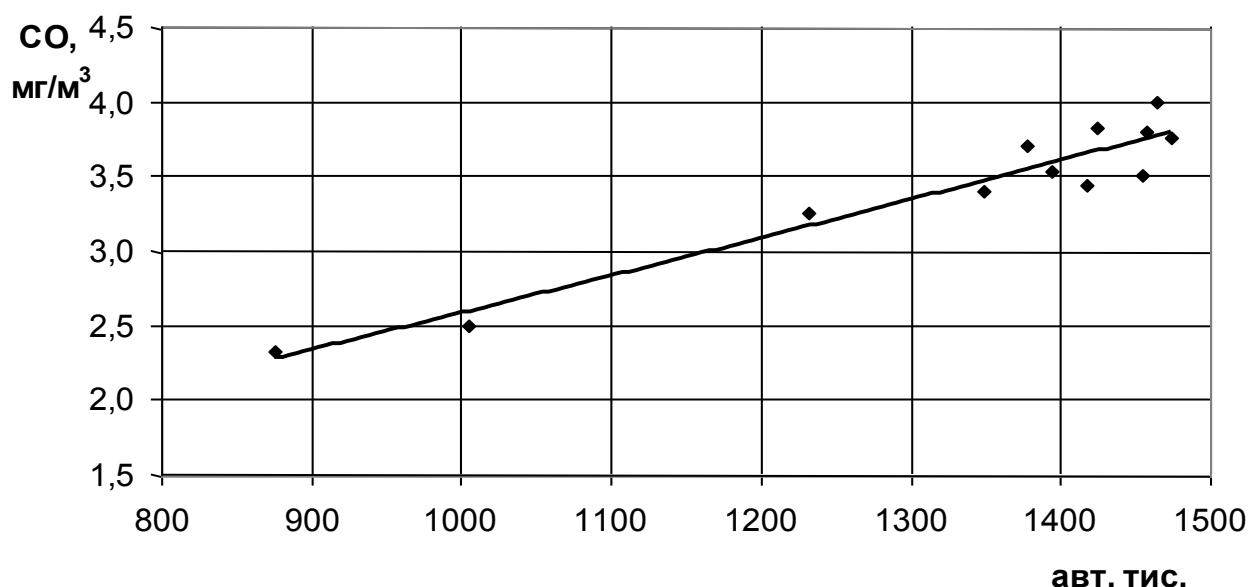


Рис. 3.11 – Графічна залежність концентрації оксидів вуглецю від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2014 році

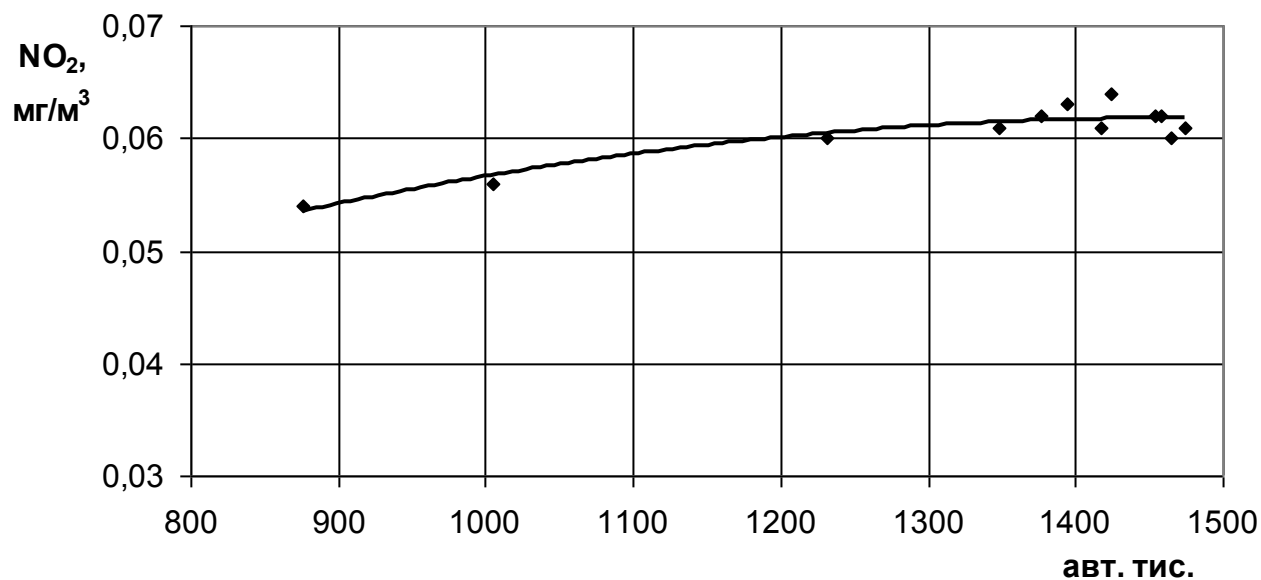


Рис. 3.12 – Графічна залежність концентрації диоксидів азоту від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2014 році

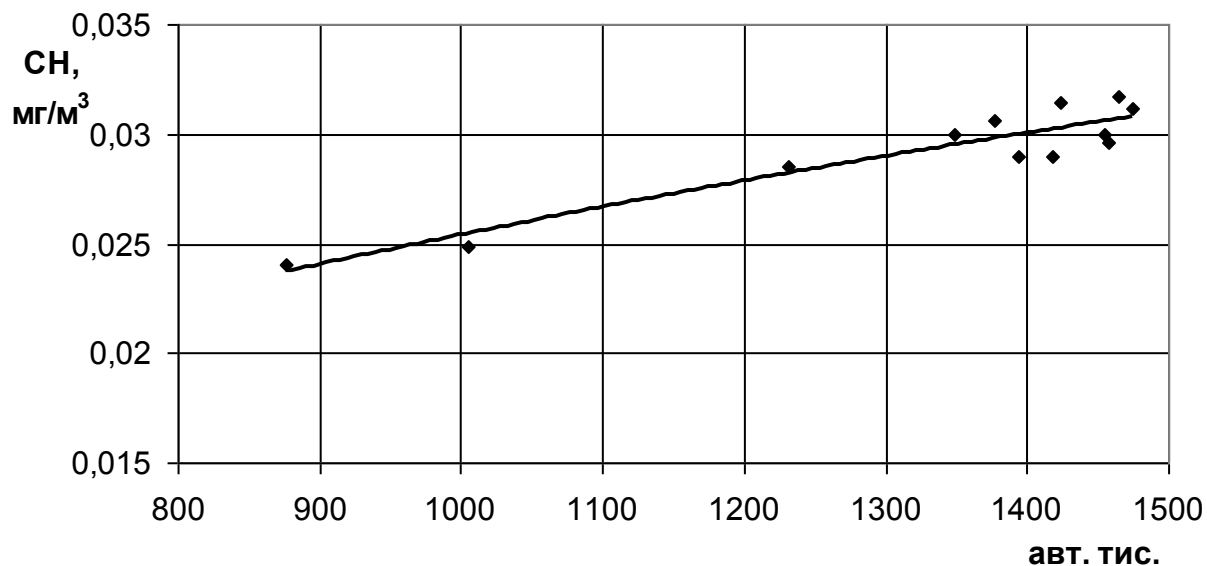


Рис. 3.13 – Графічна залежність концентрації вуглеводнів від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2014 році

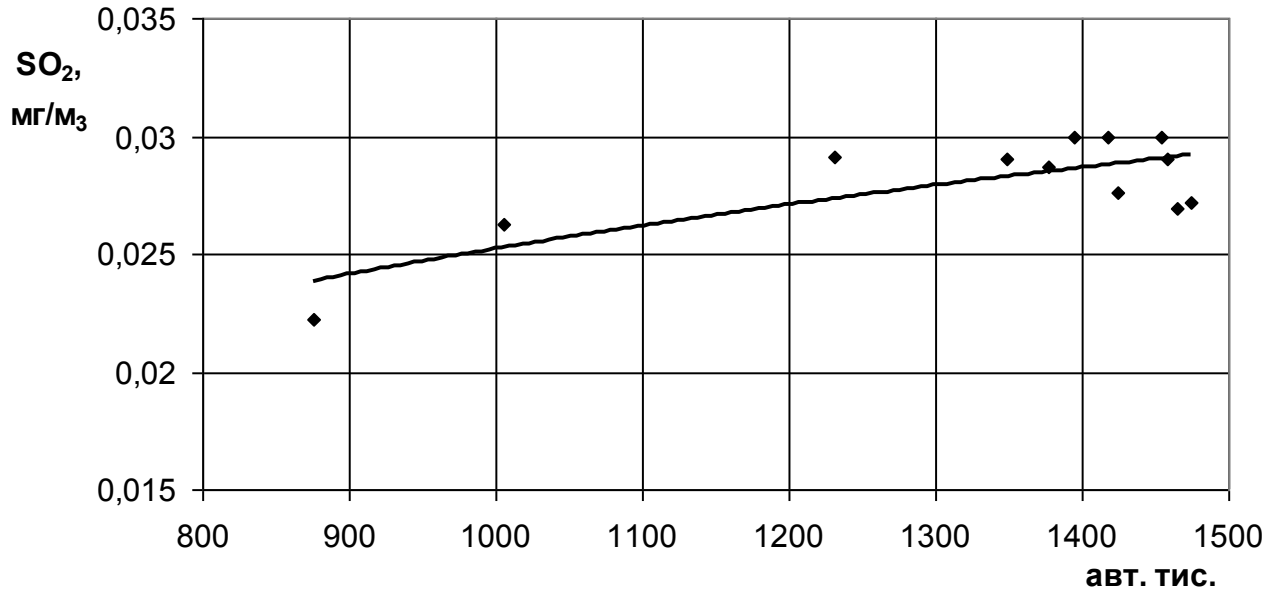


Рис. 3.14 – Графічна залежність концентрації диоксидів сірки від кількості автотранспорту на дослідній ділянці-1 у 2014 році

Для одержаних даних проведемо аналогічні розрахунки та порівняємо результати.

Результати розрахунків подано в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Оксид вуглецю CO (2014)

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| $-9,82395 \cdot 10^{-6}$ | $-1,99058 \cdot 10^{-6}$ | $4,02254 \cdot 10^{-5}$ | $-2,01835 \cdot 10^{-5}$ | $4,67784 \cdot 10^{-6}$ | $4,94029 \cdot 10^{-6}$ | 2,691690762 |
| $3,92741 \cdot 10^{-6}$ | $2,02941 \cdot 10^{-6}$ | $1,01683 \cdot 10^{-5}$ | $8,06653 \cdot 10^{-6}$ | $2,59449 \cdot 10^{-6}$ | $3,06465 \cdot 10^{-6}$ | 0,431092953 |
| 0,881 | 0,120242214 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 6,16 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 0,534375717 | 0,07229095 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: $a_0=2,691690762$; $a_1=4,94029 \cdot 10^{-6}$; $a_2=4,67784 \cdot 10^{-6}$; $a_3=-2,01835 \cdot 10^{-5}$; $a_4=4,02254 \cdot 10^{-5}$; $a_5=-1,99058 \cdot 10^{-6}$; $a_6=-9,82395 \cdot 10^{-6}$; коефіцієнт детермінації: $R^2= 0,881$; розрахункове значення статистики $F=6,16$; число спостережень $n=12$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p=7$;

число ступенів вільності знаменника $p-1=6$; число ступенів вільності чисельника $n-p=5$; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ε :
 $SE_{y_0}=0,431092953$; $SE_{y_1}=3,06465 \cdot 10^{-6}$; $SE_{y_2}=2,59449 \cdot 10^{-6}$; $SE_{y_3}=8,06653 \cdot 10^{-6}$;
 $SE_{y_4}=1,01683 \cdot 10^{-5}$; $SE_{y_5}=2,02941 \cdot 10^{-6}$; $SE_{y_6}=3,92741 \cdot 10^{-6}$; дисперсія ε :
 $SE_y^2 = 0,120242214$; сума квадратів, зумовлена регресією : $SS_{\text{рег.}} = 0,534375717$;
сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 0,07229095$.

Рівняння регресії запишеться:

$$C_{CO} = 2,691690762 + 4,94029 \cdot 10^{-6} x_1 + 4,67784 \cdot 10^{-6} x_2 - 2,01835 \cdot 10^{-5} x_3 + \\ + 4,02254 \cdot 10^{-5} x_4 - 1,99058 \cdot 10^{-6} x_5 - 9,82395 \cdot 10^{-6} x_6 \quad (3.10)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задасмося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p-1=6$ та $n-p=5$ тобто будемо мати $F_{kp} = f(0,05;6;5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 6,16$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{kp} = f(0,05;6;5) = 4,95 \leq F = 6,16$, тобто $F_{kp} \leq F$ що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = a_6 = 0$ про відсутність регресійної залежності між змінними C_{CO} та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що протирічить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Задасмося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стьюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{kp} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i . Результат подано в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Значення коефіцієнтів регресії для CO

| a_i | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 |
|-------|------------|-------------|------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| t | 6,24387558 | 1,612023733 | 1,80299084 | -2,502134088 | 3,955971042 | -0,980868148 | -2,501382171 |

Не всі обчислені значення, за абсолютною величиною більші за його критичне значення. Для коефіцієнтів a_1 , a_2 , a_3 , a_5 , a_6 ці значення менші, тобто параметри, біля яких вони стоять не мають суттєвого впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація оксиду вуглецю C_{CO} . Суттєвий вплив має лише кількість вантажних автомобілів з дизельним двигуном.

Таблиця 3.14 – Оксид азоту NO_2 (2014)

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| $-3,65537 \cdot 10^{-7}$ | $-2,93134 \cdot 10^{-8}$ | $6,29589 \cdot 10^{-7}$ | $-4,09194 \cdot 10^{-7}$ | $1,2434 \cdot 10^{-7}$ | $3,13687 \cdot 10^{-7}$ | 0,00692877 |
| $1,18365 \cdot 10^{-7}$ | $6,11624 \cdot 10^{-8}$ | $3,06452 \cdot 10^{-7}$ | $2,4311 \cdot 10^{-7}$ | $7,8193 \cdot 10^{-8}$ | $9,23626 \cdot 10^{-8}$ | 0,012992318 |
| 0,9238 | 0,00362387 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 10,1 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 0,000795818 | $6,56622 \cdot 10^{-5}$ | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: $a_0=0,00692877$; $a_1=3,13687 \cdot 10^{-7}$; $a_2=1,2434 \cdot 10^{-7}$; $a_3 = -4,09194 \cdot 10^{-7}$; $a_4 = 6,29589 \cdot 10^{-7}$; $a_5 = -2,93134 \cdot 10^{-8}$; $a_6 = -3,65537 \cdot 10^{-7}$; коефіцієнт детермінації: $R^2= 0,9238$; розрахункове значення статистики $F=10,1$; число спостережень $n=12$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p=7$; число ступенів вільності знаменника $p-1=6$; число ступенів вільності чисельника $n-p=5$; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ϵ : $SE_{y_0}=0,012992318$; $SE_{y_1}=9,23626 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_2}=7,8193 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_3}=2,4311 \cdot 10^{-7}$; $SE_{y_4}=3,06452 \cdot 10^{-7}$; $SE_{y_5}=6,11624 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_6}=1,18365 \cdot 10^{-7}$; дисперсія ϵ : $SE_y^2 = 0,00362387$; сума квадратів, зумовлена регресією : $SS_{\text{рег.}}= 0,000795818$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}}= 6,56622 \cdot 10^{-5}$.

Рівняння регресії запишеться:

$$NO_2=0,00692877+ 3,13687 \cdot 10^{-7}x_1 - 1,2434 \cdot 10^{-7}x_2 -$$

$$- 4,09194 \cdot 10^{-7} x_3 + 6,29589 \cdot 10^{-7} x_4 - 2,93134 \cdot 10^{-8} x_5 - 3,65537 \cdot 10^{-7} x_6 \quad (3.11)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задася рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p-1=6$ та $n-p=5$ тобто будемо мати $F_{кр} = f(0,05;6;5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 10,1$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{кр} = f(0,05;6;5) = 4,95 \leq F = 10,1$, тобто $F_{кр} \leq F$, що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = a_6 = 0$ про відсутність регресійної залежності між змінними C_{NO_2} та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що суперечить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Задася рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стьюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{кр} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i . Результат подано в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Значення коефіцієнтів регресії для NO_2

| a_i | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 |
|-------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| t | 0,533297431 | 3,396249303 | 1,590162261 | -1,683165175 | 2,054447359 | -0,479271553 | -3,088227648 |

Не всі обчислені значення, за абсолютною величиною більші за його критичне значення. Тобто, для коефіцієнтів a_0, a_2, a_3, a_4, a_5 ці значення менші, тобто параметри, біля яких вони стоять, кількість легкових автомобілів, з дизельним двигуном; кількість вантажних автомобілів, з бензиновим двигуном; кількість вантажних автомобілів з дизельним двигуном та кількість автобусів, з бензиновим двигуном не мають суттєвого впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація оксиду азоту C_{NO_2} . На концентрацію оксиду азоту C_{NO_2} мають

достатньо великий вплив кількість легкових автомобілів, з дизельним двигуном; кількість вантажних автомобілів, з бензиновим двигуном та кількість автобусів, з бензиновим двигуном.

Таблиця 3.16 – Оксид сірки SO₂ (2014)

| | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| $-1,17166 \cdot 10^{-7}$ | $8,47414 \cdot 10^{-8}$ | $-8,20695 \cdot 10^{-8}$ | $3,16455 \cdot 10^{-7}$ | $2,42732 \cdot 10^{-8}$ | $1,27497 \cdot 10^{-8}$ | -0,008554874 |
| $5,58043 \cdot 10^{-8}$ | $2,88357 \cdot 10^{-8}$ | $1,4448 \cdot 10^{-7}$ | $1,14617 \cdot 10^{-7}$ | $3,6865 \cdot 10^{-8}$ | $4,35454 \cdot 10^{-8}$ | 0,006125372 |
| 0,91 | 0,001708514 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 8,4203 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 0,000147474 | $1,45951 \cdot 10^{-5}$ | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: $a_0 = -0,008554874$; $a_1 = 1,27497 \cdot 10^{-8}$; $a_2 = 2,42732 \cdot 10^{-8}$; $a_3 = 3,16455 \cdot 10^{-7}$; $a_4 = -8,20695 \cdot 10^{-8}$; $a_5 = 8,47414 \cdot 10^{-8}$; $a_6 = -1,17166 \cdot 10^{-7}$; коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,91$; розрахункове значення статистики $F = 8,4203$; число спостережень $n = 12$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p = 7$; число ступенів вільності знаменника $p - 1 = 6$; число ступенів вільності чисельника $n - p = 5$; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ϵ : $SE_{y_0} = 0,006125372$; $SE_{y_1} = 4,35454 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_2} = 3,6865 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_3} = 3,16455 \cdot 10^{-7}$; $SE_{y_4} = 2,88357 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_5} = 2,88357 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_6} = 5,58043 \cdot 10^{-8}$; дисперсія ϵ : $SE_y^2 = 0,001708514$; сума квадратів, зумовлена регресією: $SS_{\text{рег.}} = 0,000147474$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 1,45951 \cdot 10^{-5}$.

Рівняння регресії запишеться:

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 = & -0,008554874 + 1,27497 \cdot 10^{-8} x_1 + 2,42732 \cdot 10^{-8} x_2 + 3,16455 \cdot 10^{-7} x_3 - \\ & - 8,20695 \cdot 10^{-8} x_4 + 8,47414 \cdot 10^{-8} x_5 - 1,17166 \cdot 10^{-7} x_6 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задамося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p - 1 = 6$ та $n - p = 5$ тобто будемо мати $F_{кр} = f(0,05; 6; 5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 8,4203$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{кр} = f(0,05; 6; 5) = 4,95 \leq F = 8,4203$, тобто $F_{кр} \leq F$

що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = a_6 = 0$ про відсутність регресійної залежності між змінними SO_2 та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що суперечить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Заданося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{кр.} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i . Результат подано в табл. 3.17

Таблиця 3.17 – Значення коефіцієнтів регресії для SO_2

| a_i | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|------------|--------------|
| t | -1,396629286 | 0,292792138 | 0,658435417 | 2,760980674 | -0,568032862 | 2,93876949 | -2,099586416 |

Тобто, для коефіцієнтів a_0, a_1, a_2, a_4, a_6 обчислені значення, за абсолютною величиною менші за його критичне значення, тобто параметри, біля яких вони стоять, не мають суттєвого впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація оксиду сірки SO_2 .

Таблиця 3.18 – Вуглеводні СН(2014)

| | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|
| $-1,59779 \cdot 10^{-8}$ | $1,51323 \cdot 10^{-8}$ | $-4,0586 \cdot 10^{-8}$ | $3,42772 \cdot 10^{-8}$ | $-1,42107 \cdot 10^{-8}$ | $6,02533 \cdot 10^{-8}$ | 0,01175031 |
| $2,81568 \cdot 10^{-8}$ | $1,45495 \cdot 10^{-8}$ | $7,28995 \cdot 10^{-8}$ | $5,78315 \cdot 10^{-8}$ | $1,86007 \cdot 10^{-8}$ | $2,19714 \cdot 10^{-8}$ | 0,003090642 |
| 0,9418 | 0,000862055 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| 13,4926 | 5 | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |
| $6,0161 \cdot 10^{-5}$ | $3,71569 \cdot 10^{-6}$ | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д | #Н/Д |

Тобто одержимо наступні числові дані:

Коефіцієнти регресії: $a_0 = 0,01175031$; $a_1 = 6,02533 \cdot 10^{-8}$; $a_2 = -1,42107 \cdot 10^{-8}$; $a_3 = 3,42772 \cdot 10^{-8}$; $a_4 = -4,0586 \cdot 10^{-8}$; $a_5 = 1,51323 \cdot 10^{-8}$; $a_6 = -1,59779 \cdot 10^{-8}$; коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,9418$; розрахункове значення статистики $F = 13,4926$; число

спостережень $n=12$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p=7$; число ступенів вільності знаменника $p-1=6$; число ступенів вільності чисельника $n-p=5$; середньокваратичне відхилення нормальної випадкової величини ε : $SE_{y_0}=0,003090642$; $SE_{y_1}=2,19714 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_2}=1,86007 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_3}=5,78315 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_4}=7,28995 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_5}=1,45495 \cdot 10^{-8}$; $SE_{y_6}=2,81568 \cdot 10^{-8}$; дисперсія ε : $SE_y^2 = 0,000862055$; сума квадратів, зумовлена регресією : $SS_{\text{рег.}} = 6,0161 \cdot 10^{-5}$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 3,71569 \cdot 10^{-6}$.

Рівняння регресії запишеться:

$$C_{\text{CH}} = 0,01175031 + 6,02533 \cdot 10^{-8} x_1 - 1,42107 \cdot 10^{-8} x_2 + 3,42772 \cdot 10^{-8} x_3 - 4,0586 \cdot 10^{-8} x_4 + 1,51323 \cdot 10^{-8} x_5 - 1,59779 \cdot 10^{-8} x_6 \quad (3.13)$$

Перевіримо на значущість коефіцієнт детермінації R^2 . Задамося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. За допомогою таблиць знайдемо критичне значення F розподілу з числом ступенів вільності $p-1=6$ та $n-p=5$ тобто будемо мати $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95$. Одержане розрахункове значення $F = 13,4926$. Порівняємо його з табличним критичним значенням $F_{\text{кр}} = f(0,05;6;5) = 4,95 \leq F = 13,4926$, тобто $F_{\text{кр}} \leq F$ що вказує на те, що коефіцієнт детермінації R^2 значно відрізняється від нуля. Тому гіпотеза $H_0: a_0=a_1=a_2=a_3=a_4=a_5=a_6=0$ про відсутність регресійної залежності між змінними C_{CH} та $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ відхиляється як така, що протирічить даним фактичним спостереженням.

Оцінимо значимість вибірових коефіцієнтів регресії $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Задамося рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Обчислимо критичне значення розподілу Стьюдента з $n-p=5$ ступенів вільності, порядку $\alpha/2 = 0,025$, тобто величину $T_{\text{кр.}} = t(0,025;5) = 2,57$. Використовуючи формулу $t = \frac{a_i}{SE_i}$, обчислимо значення статистики для кожного з вибірових коефіцієнтів регресії a_i . Результат подано в табл. 3.19.

Таблиця 3.19 – Значення коефіцієнтів регресії для СН

| a_i | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 |
|-------|-------------|-------------|--------------|------------|--------------|-------------|--------------|
| t | 3,801899526 | 2,742347537 | -0,763986416 | 0,59270782 | -0,556738463 | 1,040062622 | -0,567461296 |

Не всі обчислені значення, за абсолютною величиною більші за його критичне значення. Тобто, для коефіцієнтів a_2 , a_3 , a_5 , a_6 ці значення менші, тобто параметри, біля яких вони стоять не мають суттєвого впливу на результуючу ознаку, якою є концентрація вуглеводнів СН, лишень кількість легкових автомобілів з бензиновим двигуном має значний вплив на цю складову забруднення атмосфери, трохи менший вплив має кількість легкових автомобілів з дизельним двигуном.

Якщо порівняти одержані результати за 2014 рік з відповідними результатами за 2013 рік, тобто коли змінилася організація руху на перехресті, то можна сказати наступне: кількість шкідливих викидів оксидів вуглецю СО, азоту NO₂, сірки SO₂ та вуглеводнів СН зменшилась за рахунок зміни на відповідному перехресті організації руху, зниження часу простоїв автомобілів на перехрестю, що зумовило зменшення викидів відповідних газів. З досліджень видно, що найбільший вплив на концентрацію шкідливих викидів мають кількість автобусів з бензиновим та дизельним двигуном, що характерно для всіх груп шкідливих викидів. На викиди азоту NO₂ мають суттєвий вплив автобуси та вантажівки з дизельним двигуном. Про силу зв'язку між змінними свідчить високе значення коефіцієнта кореляції, що знаходиться в межах від 0,88 до 0,97.

Висновки

1. Проаналізовані літературні дані щодо визначення забруднення атмосферного повітря транспортними потоками. Розглянуто методики розрахунку розмірів викидів шкідливих речовин.

2. За даними відділення технагляду ДАІ визначено маркову структуру транспортної системи м. Івано-Франківська.

3. Описано метод оцінки забруднення атмосферного повітря транспортними потоками центральної частини міста.

4. Аналіз розрахунків розсіювання виявив перевищення допустимого рівня забруднення за оксидами вуглецю, азоту, вуглеводням. Найбільші перевищення спостерігаються на вузьких вулицях з інтенсивним рухом автомобільного транспорту і щільною забудовою, тобто там, де найгірші умови провітрювання території та відбувається повільне розсіювання шкідливих речовин.

5. Для покращення стану забруднення повітря транспортним потоком у центральній частині м. Івано-Франківська нами пропонується покращити транспортну інфраструктуру шляхом покращення роз'їздів на перехрестях та збільшення кількості тролейбусів для перевезення мешканців міста.

4 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОРОЖНІХ УМОВ ЯК СТОХАСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Масштабність викидів забруднюючих речовин автотранспортом залежить від багатьох чинників, основними з яких є технічний стан транспортних засобів, режим роботи, організація дорожнього руху та дорожніх умов. Найважливішим чинником є дорожні умови.

4.1 Ймовірнісна сутність дорожніх умов

Відповідно дорожньої термінології [163] під дорожніми умовами розуміють сукупність геометричних параметрів, транспортно-експлуатаційних якостей дороги, дорожнього покриття, елементів інженерного обладнання, що безпосередньо впливають на умови руху (виконання водіями операцій по перевезенню пасажирів, вантажу).

В наведеному визначенні відсутній зв'язок дорожніх умов з безпекою руху. Разом з тим дорожні умови, що є постійною складовою системи “Дорожні умови — транспортні потоки — навколишнє середовище” (ДУ-ТП-С) чинять позитивний або негативний вплив на безпеку руху, що обумовлене якісним їх станом. У зв'язку з цим наведене визначення потребує уточнення. Так, дорожні умови будемо трактувати як сукупність факторів, які позитивно чи негативно впливають на безпеку дорожнього руху транспортних засобів та пішоходів. До дорожніх факторів належить все те, що є на дорозі за винятком учасників руху та навколишнього природного середовища.

Слід відмітити, що дорожні умови для водія, що рухається, не постійні (стаціонарні) – вони весь час змінюються не самі по собі а у сприйманні водія під час руху. Рухаючись із швидкістю 90 км/год (25 м/с) за декілька секунд виникають і змінюються елементи обстановки дороги (дорожні знаки, напрямні стовпчики, дорожні огороження), мости, пішохідні переходи, перехрестя тощо. Водій за короткий проміжок часу сприймає інформацію, аналізує її, приймає

рішення і його виконує. З часом забуває про минуле бо неупинно поступає нова інформація.

Безпосередній вплив дорожніх умов на безпеку руху можна виявити шляхом аналізу фактичного покілометрового розподілу дорожньо-транспортних пригод (ДТП) за довжиною доріг.

Коли на кілометрах ділянок доріг, що аналізуються, ДТП по довжині розподілені рівномірно (без явного скупчення), то дорожні умови задовольняють вимогам утвореного руху і їх можна характеризувати як сприятливі для безпеки дорожнього руху. Якщо на ділянці дороги дорожні умови не відповідають вимогам безпеки руху на ній спостерігається скупчення (концентрація) ДТП, що свідчить про негативний вплив одного або декількох дорожніх факторів на безпеку дорожнього руху.

Для вирішення задачі забезпечення безпеки дорожнього руху транспорту і пішоходів на автомобільних дорогах, що експлуатуються, будемо розглядати дорожні фактори (D_j).

До дорожніх умов кожної ділянки дороги можуть належати тільки її характерні дорожні фактори.

Наприклад, дорожніми факторами на розв'язці в одному рівні з віднесеними лівими поворотами можуть бути: дорожня розмітка вертикальна та горизонтальна проїзної частини, металеві дорожні огороження, зупиночні смуги на узбіччях доріг, шорсткість та коефіцієнт зчеплення поверхневої обробки покриття проїзної частини, дорожні знаки.

Сукупність конкретних дорожніх факторів (комплекс дорожніх факторів (K_d)) необхідних для забезпечення безпеки дорожнього руху можна виразити формулою:

$$K_d = \{ D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_h \} \quad j = \overline{1, h}, \quad (4.1)$$

де K_d – комплекс дорожніх факторів, що сприяє безпеці дорожнього руху;

D_j – j -тий дорожній фактор, який впливає на безпеку дорожнього руху.

Кожному конкретному дорожньому фактору (D_j) ставимо у відповідність ймовірнісну подію (A_j) та навпаки:

$$D_j \leftrightarrow A_j \quad j = \overline{1, h}, \quad (4.2)$$

тоді (4.1) з урахуванням (4.2) прийме вигляд:

$$K_d = \{ A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h \} \quad (4.3)$$

де A_j – j -та ймовірнісна подія, що ставиться у відповідність (D_j) дорожньому фактору.

Під ймовірнісною подією стосовно дорожніх умов будемо розглядати конкретний дорожній фактор на ділянці дороги, наприклад, наявність розмітки проїзної частини, дорожнього знака, швидко-перехідної смуги, тобто конкретні види влаштованих дорожніх елементів, спрямованих на задоволення безпеки дорожнього руху.

Кожну конкретну ділянку експлуатованих доріг будемо розглядати як ймовірнісний об'єкт з ймовірнісними факторами.

Під спостереженням з ймовірнісної точки зору будемо розуміти аналіз покілометрових розподілів ДТП і дорожніх умов на конкретних ділянках автомобільних доріг, що експлуатуються.

Дорожні умови, як фізична реальність, містять в собі непомітну для рухомого водія ймовірнісну сутність, що полягає в непередбаченості заздалегідь певної зміни існуючих дорожніх умов, елементів дороги, якісного їх стану, геометричних розмірів у плані, подовжньому та поперечному профілях.

В процесі руху водій не визначає довжину прямолінійних чи криволінійних ділянок, значення радіусів кривих у плані та подовжньому профілі, відстань

видимості поверхні дороги, зустрічного автомобіля, не оцінює ширину проїзної частини, смуг руху, коефіцієнт зчеплення коліс транспортних засобів з поверхнею дорожнього покриття, рівність дорожнього покриття і все інше.

Саме це може стати прямою або непрямою причиною виникнення помилки, яка приводить водія до хибного вибору ним режиму руху у виникненні конфліктної ситуації, яка трансформується в аварійну ситуацію і закінчується виникненням ДТП.

В практиці експлуатаційного утримання доріг безпека дорожнього руху безпосередньо залежить від якісного стану дорожніх умов як однієї з керованих ланок в системі ДУ-ТП-С.

У зв'язку з викладеним за станом дорожніх умов потрібен постійний цілеспрямований контроль, здійснення якого можливе з використанням результатів обстеження та аналізу фактичних розподілів ДТП на розв'язках в одному рівні, у тому числі з віднесеними лівими поворотами. Створення прогнозних стохастичних моделей дозволяє оперативно виявляти місця чи ділянки можливої появи ДТП, виконувати оцінити умови і попередити аварійність на них шляхом цілеспрямованого удосконалення дорожніх умов, які включають весь комплекс втручання в фактори, що впливають на режими руху транспортних потоків по дорозі [164].

Первинним джерелом інформації і поясненням поведінки водія на кожній конкретній ділянці дороги є сама дорога. В загальному вигляді фактори, що привертають увагу водія під час руху [164] можна розділити на три групи:

- фактори, що відносяться до самої дороги, дорожньої обстановки тобто елементи дороги або попередження про них які безпосередньо впливають на управління автомобілем (зміна напрямку та положення дорожнього покриття, дорожні знаки, нерівності проїзної частини, примикання, розгалуження доріг і т. п.);

- фактори, які пов'язані з учасниками руху — інші автомобілі, пішоходи, мотоциклісти і велосипедисти, пішоходи на узбіччях ділянок доріг, тощо;

- фактори, які безпосередньо не пов'язані з рухом — будови і споруди, що впадають у вічі, рослинні групи на придорожній смузі, елементи навколишнього ландшафту, навіть літаки, що пролітають над дорогою.

Кількість факторів, що водій може розрізнити і чітко зафіксувати у своїй свідомості обмежена мінімальною протяжністю часу, необхідного для сприйняття окремих дій його органами відчуття. Для кожного з подразників людини існує граничне значення часу фіксації інформації, яка індивідуальна і залежить від загального емоційного напруження людини.

В середньому граничне значення часу складає: для зору – $1/16$ с; для слуху – $1/20$ с; для мускульної реакції на поштовх та тряску – $1/5$ с.

В нормальних умовах руху головним джерелом інформації водія про дорожні умови є зір [165].

Таким чином, аналіз особливостей сприйняття дорожніх умов водіями дозволяє зробити висновок про те, що небезпечними необхідно вважати дорожні умови, на яких виникає різка зміна режимів руху транспортних засобів в порівнянні з попередніми умовами і водіям потрібна підвищена увага. Саме за таких дорожніх умов виникають дорожньо-транспортні ситуації які переходять в події, спостерігається скупчення ДТП.

Надалі розглянемо ймовірність появи дорожньо-транспортних ситуацій на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами, перш за все – конфліктних ситуацій.

4.2 Властивості дорожніх факторів як ймовірнісних подій

Дорожні фактори D_j як ймовірнісні події A_j , що характеризуються фізичними та ймовірнісними властивостями незалежності, рівноможливості, сумісності і несумісності.

Формулювання цих властивостей є основою для створення математичних моделей прогнозування ймовірностей оцінки безпеки руху через здійснення профілактичних заходів шляхом цілеспрямованого поліпшення дорожніх умов.

Розглянемо детально фізичне та математичне тлумачення наведених властивостей.

Під фізичною незалежністю дорожніх факторів (елементів) як ймовірнісних подій будемо розуміти фактичну наявність дорожніх факторів на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами на експлуатованих автомобільних дорогах та незалежне їх існування один від іншого, а також по відношенню до транспорту і пішоходів, що рухаються.

Як приклад незалежних дорожніх ймовірнісних подій розглянемо їх комплекс (K_d), що включає розмітку проїзної частини на смуги руху, організацію дорожнього руху транспортних засобів застосуванням необхідних дорожніх знаків, влаштування зупиночних смуг на узбіччях доріг, а також найменшої ширини укріплення на роздільній смузі, влаштування металевих бар'єрних огорожень на роздільній смузі, забезпечення шорсткої поверхневої обробки дорожнього покриття з мінімально-допустимим коефіцієнтом зчеплення $\varphi_\phi = 0,3$ коліс транспортних засобів з дорожнім покриттям, улаштування укосів насипу земляного полотна з крутістю $K_\phi = 1 : 1,5 = 0,6667$.

Кожний з перерахованих дорожніх факторів існує незалежно один від одного та по відношенню до транспорту і пішоходів, що рухаються.

Незалежними з ймовірнісної точки зору [166, 167] є події $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h$, коли кожна з них не залежить від кожної з інших і від усіх можливих їх перетинів.

Головною умовою незалежних подій в їх сукупності є ймовірність суміщення (добуток) h подій, що виражається добутком їх ймовірностей, тобто:

$$P = P(A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h) = P(A_1) \times P(A_2) \times \dots \times P(A_j) \times \dots \times P(A_h) \quad (4.4)$$

або

$$P\left(\bigcap_{j=1}^h A_j\right) = \prod_{j=1}^h P(A_j) \quad (4.5)$$

де \cap – знак логічного множення ймовірнісних подій;

\prod – знак алгебраїчного множення чисел.

Стосовно до дорожніх умов вирази (4.4, 4.5) характеризують те, що ймовірність впливу будь-якого дорожнього фактору на безпеку руху не змінює ймовірність такого впливу інших дорожніх в дорожніх комплексах, що розглядаються.

Умови (4.4, 4.5) справедливі і для протилежних подій, тобто для заходів, що є негативними. Наприклад, недостатня за коефіцієнтом зчеплення поверхнева обробка покриття дорожнього полотна, недостатня організація дорожнього руху, зношена розмітка проїзної частини та інше.

Рівноможливість дорожніх факторів розглядається як можливість кожного з них сприяти безпеці дорожнього руху. Властивість рівноможливості дозволяє визначити ймовірність задовольняння безпеці дорожнього руху. Ця властивість практично реалізується в кожному конкретному комплексі дорожніх заходів, призначених для сприяння вимозі безпеки руху.

Властивість рівноможливості стосовно дорожніх умов має велике практичне значення, тому що є основою для оцінки ролі дорожніх факторів в безпеці руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами на дорогах, що експлуатуються.

Фізична сумісність дорожніх факторів характеризує одночасну наявність на ділянці дороги двох і більше дорожніх факторів, що сприяють безпеці руху.

Властивість сумісності вказує на те, що дорожні фактори як ймовірнісні події перетинаються між собою. Стосовно безпеки руху транспорту та пішоходів перетин ймовірнісних подій розглядається як сукупний вплив конкретного комплексу дорожніх факторів на забезпечення безпеки дорожнього руху.

Суміщенням (або добутком) ймовірнісних подій $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h$ з ймовірнісної точки зору називається складна подія [167, 168], що полягає в одночасному чи послідовному здійсненні цих подій.

Для сумісних ймовірнісних подій $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h$ їх добуток не є пустою множиною, тобто:

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_j \times \dots \times A_h \neq \emptyset, \quad (4.6)$$

де \emptyset – порожня множина.

Ймовірність суміщення h подій, незалежних в їх сукупності, дорівнює добутку їх ймовірностей і визначається за залежностями (4.4, 4.5).

Таким чином, виходячи з умови забезпечення безпеки дорожнього руху транспортних засобів і пішоходів, дорожні фактори як ймовірності події в кожному конкретному їх комплексі завжди мають властивості сумісності і в сукупності чи окремо сприяють забезпеченню безпеки дорожнього руху.

Під несумісністю дорожніх факторів на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами з фізичної точки зору необхідно розуміти несумісність їх комплексів, де дорожні фактори розрізняються за конкретними видами.

На цих розв'язках несумісними є комплекси протилежних дорожніх факторів або ймовірнісних подій, тобто:

$$K_d \text{ та } \bar{K}_d; \quad (4.7)$$

$$A_j \text{ і } \bar{A}_j, \quad (4.8)$$

де K_d – комплекс дорожніх факторів, що задовільняють безпеці дорожнього руху;

\bar{K}_d – комплекси дорожніх факторів, що не задовільняють безпеці дорожнього руху;

A_j – ймовірнісна подія, що сприяє безпеці дорожнього руху;

\bar{A}_j – ймовірнісна подія, що не сприяє безпеці дорожнього руху.

Риски над буквами \bar{K}_d та \bar{A}_j визначають комплекси протилежних дорожніх факторів та ймовірнісних подій.

Вирази (4.7, 4.8) можна записати в більш зручному вигляді:

$$K_d = \bigcup_{j=1}^h A_j \quad \text{та} \quad \bar{K}_d = \bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j, \quad (4.9)$$

де \cup, \cap – символи логічного додавання та множення ймовірнісних подій або об'єднання та перетин множини подій.

Наприклад, комплексу дорожніх факторів K_d , або сумі ймовірнісних подій:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j, \quad j = \overline{1, h}, \quad (4.10)$$

що сприяють безпеці дорожнього руху, протилежними будуть комплекс негативних дорожніх факторів \bar{K}_d , або добуток негативних ймовірнісних подій:

$$\bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j, \quad j = \overline{1, h}, \quad (4.11)$$

Так, конкретні комплекси дорожніх факторів, або ймовірнісних подій (4.9) є взаємно виключаючими одна одну. Однак при зниженні якісного стану дорожніх умов виникає потреба їх поліпшення, що позитивно сприяє підвищенню безпеки дорожнього руху.

4.3 Теоретико-множинна інтерпретація дорожніх чинників як ймовірнісних подій

На розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами комплекси дорожніх факторів будемо розглядати як достовірні події:

$$\Omega = \langle K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n \rangle \quad (4.12)$$

де Ω – достовірна подія;

K_i – i -й комплекс дорожніх факторів;

$i = \overline{1, n}$ – приймає значення від 1 до n .

В більш широкому плані достовірною подією будемо вважати кожний комплекс дорожніх факторів. Це означає, що при $i = 1$ вираз (4.12) з використанням (4.3) прийме вигляд:

$$\Omega = K_{i=1} = \langle A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h \rangle \quad (4.13)$$

Вираз (4.13) відображає те, що кожний конкретний комплекс $K_{i=1}$ дорожніх факторів, описаних ймовірнісними подіями $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h$, характеризує достовірну подію.

Відповідно сучасній аксіоматичній побудові теорії ймовірностей, що запропонована А. Н. Колмогоровим [167, 168] ймовірність достовірної події дорівнює одиниці:

$$P(\Omega) = 1. \quad (4.14)$$

При розв'язанні практичних задач широко використовуються властивості протилежних подій, з допомогою яких виконуються певні математичні операції з цими подіями.

Розглянемо детально поняття протилежних подій з ймовірнісної точки зору.

Ймовірнісну подію:

$$\bar{A}_j = \Omega \setminus A_j = \Omega - A_j \quad (4.15)$$

називають подією [168] протилежною A_j . Іншими словами протилежною події A_j є подія \bar{A}_j (не A_j), що означає не появу події A_j . У виразі (4.15) нахилена риска \ це в математиці [169, 170] значок різниці ймовірнісних подій або множин.

Події A_j та \bar{A}_j завжди є взаємно протилежними одна одній і взаємно виключають одна одну, у зв'язку з чим мають властивість несумісності.

На розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами взаємно протилежними та виключаючими одна одну будуть позитивні і негативні дорожні фактори. Наприклад, наявність розмітки проїзної частини в хорошому стані буде позитивною подією A_j , а її зношеність буде протилежною подією \bar{A}_j . Те ж саме можна сказати про стан поверхневої обробки покриття проїзної частини та інші дорожні фактори. Позитивні фактори сприяють безпеці дорожнього руху, а негативні дорожні фактори не сприяють.

Так, добрий якісний стан дорожніх факторів підвищує безпеку дорожнього руху, а негативний стан дорожніх факторів її погіршує.

З (4.15) випливає, якщо події A_j та \bar{A}_j протилежні, то їх сума завжди є достовірною подією:

$$A_j + \bar{A}_j = \Omega. \quad (4.16)$$

Твердження (4.16) справедливе і для суми h протилежних ймовірнісних подій:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j + \overline{\bigcup_{j=1}^h A_j} = \Omega. \quad (4.17)$$

У зв'язку з тим, що:

$$\overline{\bigcup_{j=1}^h A_j} = \bigcap_{i=1}^h \overline{A_i}, \quad (4.18)$$

то (4.17) з урахуванням (2.18) прийме вигляд:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j + \bigcup_{i=1}^h \overline{A_i} = \Omega. \quad (4.19)$$

Якщо A_j та $\overline{A_j}$ або $\bigcup_{j=1}^h A_j$ та $\overline{\bigcup_{j=1}^h A_j}$ протилежні, то вони утворюють повну групу несумісних подій, для яких:

$$P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) + P\left(\overline{\bigcup_{j=1}^h A_j}\right) = P\Omega = 1; \quad (4.20)$$

$$P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) + \prod_{j=1}^h P\left(\overline{A_j}\right) = P\Omega = 1, \quad (4.21)$$

тобто сума ймовірностей протилежних подій дорівнює одиниці.

Властивості (4.20, 4.21) протилежних подій використовуються при вирішенні практичних задач визначення ймовірностей забезпечення безпеки дорожнього руху.

Далі розглянемо поняття суми та добутку ймовірнісних подій. У зв'язку з тим, що дорожні фактори D_j і поставлені їм у відповідність ймовірнісні події A_j є множинами, то з подіями можна виконувати математичні дії додавання та множення як з множинами.

Так, подія:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j = A_1 + A_2 + \dots + A_j + \dots + A_h, \quad (4.22)$$

де:

$$A_1 + A_2 + \dots + A_j + \dots + A_h \equiv A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_j \cup \dots \cup A_h. \quad (4.23)$$

Фізична сутність виразів (2.22, 2.23) полягає в тому, що виразами характеризується роздільний чи сумісний вплив дорожніх факторів як ймовірнісних подій на задовільнення безпеки дорожнього руху.

В свою чергу:

$$\bigcap_{j=1}^h A_j = A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_i \cap \dots \cap A_h, \quad (4.24)$$

Де

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_i \times \dots \times A_h \equiv A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_i \cap \dots \cap A_h, \quad (4.25)$$

де \bigcap – символ логічного множення ймовірнісних подій.

Вирази (4.24, 4.25) з фізичної точки зору однозначно характеризують тільки сумісний вплив дорожніх факторів на задовольняння безпеки дорожнього руху.

В практиці експлуатації автомобільних доріг завжди спостерігається як роздільний, так і сумісний вплив дорожніх факторів на безпеку руху транспорту і пішоходів.

У зв'язку з цим при розв'язанні практичних задач широко застосовуються комбінації математичних дій над подіями та їх ймовірностями.

Вирази (4.22, 4.25) справедливі і для протилежних подій.

Розглянемо також поняття повної групи подій. Події $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_h$ утворюють повну групу, коли їх об'єднання (сума) є достовірною подією

$$\bigcup_{j=1}^h A_j = \Omega, \quad (4.26)$$

а ймовірність суми подій дорівнює сумі їх ймовірностей і дорівнює одиниці:

$$P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) = \sum_{j=1}^h P(A_j) \stackrel{?}{=} P(\Omega) \stackrel{?}{=} 1. \quad (4.27)$$

Сформульовані ймовірнісні поняття стосовно дорожніх умов є теоретичною основою у створенні ймовірнісних моделей для оцінки ймовірностей забезпечення безпеки руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами дорожніми заходами, що застосовуються.

4.4 Обґрунтування моделі оцінки ймовірностей забезпечення безпеки дорожнього руху

Для створення моделі оцінки ймовірностей забезпечення безпеки дорожнього руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами від впливу застосованих дорожніх факторів будь-який комплекс цих факторів (ймовірнісних подій) (4.3) будемо розглядати як перетин незалежних подій в сукупності. При задовольнянні зазначеним умовам розв'язання задачі здійснимо на підставі двох підходів.

У першому підході побудови моделі оцінки ймовірностей задовольняння безпеки руху використаємо умову сумісності дорожніх факторів D_j як ймовірнісних подій A_j . В зв'язку з цим для суми сумісних ймовірнісних подій (4.4, 4.5) в кожному їх конкретному комплексі (4.3) [168, 171]:

$$\begin{aligned} P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) &= \sum_{j=1}^h P(A_j) \stackrel{?}{=} P(A_1 \cap A_2) \stackrel{?}{=} \\ &- P(A_1 \cap A_3) \stackrel{?}{=} P(A_2 \cap A_3) \stackrel{?}{=} \\ &+ P(A_1 \cap A_2 \cap A_3) \stackrel{?}{=} \dots + \binom{h-1}{h} \times \\ &\times P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_j \cap \dots \cap A_h) \stackrel{?}{=} \end{aligned} \quad (4.28)$$

Модель (4.28) визначає ймовірність суми будь-якої кількості подій через ймовірності цих подій, взятих по одному, по два, по три, ..., по h . Однак модель (2.28) громіздка, тому недостатньо ефективна для широкого практичного використання.

Трудомісткість розрахунків впливає із структури моделі (4.28), де ймовірності перетину подій обчислюються як добуток ймовірностей цих подій:

$$P\left(\bigcap_{j=1}^h A_j\right) = \prod_{j=1}^h P(A_j) \quad (4.29)$$

при всіляких сполученнях ймовірностей, обумовлених сполученнями з h по k ймовірнісних подій [10] в комплексах, що розглядаються:

$$C_h^k = \frac{h \times (h-1) \times \dots \times (h-k+1)}{1 \times 2 \times \dots \times (k-1)}, \quad (4.30)$$

де C_h^k – сполучення з h по k ймовірнісних подій.

Особливо трудомістким стає розрахунок оцінки забезпечення безпеки дорожнього руху по моделі (4.28) при наявності чотирьох і більше дорожніх факторів D_j як ймовірнісних подій A_j в конкретних їх комплексах. В зв'язку з цим для широкого практичного використання виникає необхідність розробки більш ефективної моделі.

В другому підході розробки оціночної моделі використаємо властивість несумісності протилежних подій в сукупності, що утворюють повну їх групу і в сумі зображають достовірні події, тобто:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j + \overline{\bigcup_{j=1}^h A_j} = \Omega. \quad (4.31)$$

В свою чергу:

$$\overline{\bigcup_{j=1}^h A_j} = \bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j. \quad (4.32)$$

Виконуючи підстановку (4.32) в (4.31), отримаємо:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j + \bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j = \Omega. \quad (4.33)$$

Тоді з виразу (4.33) визначимо:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j = \Omega - \bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j. \quad (4.34)$$

У зв'язку з тим, що сума протилежних подій є достовірною подією, звідки:

$$\bar{A}_j = \Omega - A_j, \quad (4.35)$$

то залежність (4.7) з урахуванням (4.8) прийме вигляд:

$$\bigcup_{j=1}^h A_j = \Omega - \bigcap_{j=1}^h (\Omega - A_j) \quad (4.36)$$

Переходячи до ймовірностей в (4.36), запишемо:

$$P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) = P\left(\Omega - \bigcap_{j=1}^h (\Omega - A_j)\right) \quad (4.37)$$

Якщо в (4.37) ймовірність достовірної події замінити значенням, що дорівнює одиниці, отримаємо:

$$P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) = 1 - \prod_{j=1}^h [1 - P(A_j)] \quad (4.38)$$

Математична модель (4.38) дозволяє ефективно вирішувати задачу оцінки ймовірностей забезпечення безпеки дорожнього руху від передбачених дорожніх заходів.

Розглянемо також отримання математичної моделі оцінки ймовірностей задоволення безпеки дорожнього руху на підставі використання правила (4.5) про добуток незалежних подій.

В зв'язку з цим запишемо:

$$P\left(\bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j\right) = P(\bar{A}_1) \times P(\bar{A}_2) \times \dots \times P(\bar{A}_j) \times \dots \times P(\bar{A}_n) = \prod_{j=1}^h P(\bar{A}_j) \quad (4.39)$$

Перетворимо праву частину (4.39) користуючись сумою ймовірностей протилежних подій. Так, з (4.20) маємо:

$$P(\bar{A}_j) = 1 - P(A_j) \quad (4.40)$$

Далі з використанням (4.40) перепишемо (4.39) у вигляді:

$$P\left(\bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j\right) = \prod_{j=1}^h [1 - P(A_j)] \quad (4.41)$$

Для отримання оціночної моделі перетворимо ліву частину (2.41). З цією метою з (4.5) та (4.21) маємо:

$$P\left(\bigcap_{j=1}^h \bar{A}_j\right) = \prod_{j=1}^h P\left(\bar{A}_j\right) = 1 - P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right). \quad (4.42)$$

Підставляючи (4.42) в ліву частину (4.41), знаходимо:

$$1 - P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) = \prod_{j=1}^h \left[1 - P\left(A_j\right)\right] \quad (4.43)$$

і остаточно після перетворень:

$$P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) = \prod_{j=1}^h \left[1 - P\left(A_j\right)\right] \quad (4.44)$$

Отримана модель (4.44) ідентична моделі (4.38). Порівнюючи моделі (4.28), (4.28) та (4.44), бачимо, що ліві частини моделей однакові. Отже, правомірно припустити, що рівними будуть і праві частини.

Моделями (4.28, 4.38, 4.44) оцінюється ймовірність забезпечення безпеки дорожнього руху, шляхом здійснення призначених заходів. Разом з тим для виконання конкретних практичних розрахунків найбільш ефективні математичні моделі (4.38) та (4.44).

У зв'язку з тим, що ліві частини моделей (4.28, 4.38, 4.44) визначають ймовірність забезпечення безпеки дорожнього руху від впливу конкретних комплексів ймовірнісних подій, то можна записати:

$$P\left(\bigcup_{j=1}^h A_j\right) = P_k. \quad (4.45)$$

Тоді з урахуванням (4.45) математичні моделі (4.38) та (4.44) перетворимо до вигляду:

$$P_k = 1 - \prod_{j=1}^h [1 - P(A_j)] \quad (4.46)$$

де P_k – ймовірність впливу комплексу дорожніх факторів (ймовірнісних подій) на забезпечення безпеки дорожнього руху.

Ліва частина моделі (4.46) відображає ймовірність забезпечення безпеки дорожнього руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами, що реалізується правою частиною моделі через ймовірності впливу призначених дорожніх факторів.

Ефективність моделі (4.46) у практичному використанні обумовлена евристичними її можливостями, що дозволяють швидко та надійно виконувати необхідні розрахунки ймовірностей з метою оцінки забезпечення безпеки дорожнього руху виконанням призначених дорожніх заходів.

Висновки

1. Досліджено сукупність геометричних параметрів та транспортно-експлуатаційних якостей дороги, дорожнього покриття, елементів інженерного обладнання, що безпосередньо впливають на безпеку руху.

2. Визначено властивості дорожніх факторів як ймовірнісних подій, що характеризуються фізичними та ймовірнісними властивостями незалежності, рівноможливості, сумісності і несумісності.

3. Сформульовані ймовірнісні поняття стосовно дорожніх умов є теоретичною основою у створенні ймовірнісних моделей для оцінки ймовірностей забезпечення безпеки руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами дорожніми заходами, що застосовуються.

4. Обґрунтовано модель оцінки ймовірностей забезпечення безпеки дорожнього руху.

5 ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ В МЕЖАХ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ ЗА РАХУНОК ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

5.1 Огляд методів підвищення екологічної безпеки транспортних потоків

Основною складовою транспортного потоку в межах міських агломерацій є автомобіль.

Один автомобіль щорічно поглинає з атмосфери в середньому більше 4 т кисню, викидаючи при цьому з відпрацьованими газами приблизно 800 кг чадного газу, 40 кг оксидів азоту і майже 200 кг різних вуглеводнів [126].

Токсичні компоненти складають 0,2-5% від об'єму відпрацьованих газів, залежно від типу двигуна і режиму його роботи [126].

За довгий час існування проблеми автомобільних викидів і забруднення ними атмосферного повітря було розроблено безліч методів і способів, що дозволяють зменшити кількості відпрацьованих газів або понизити їх токсичність. В даний час розробляються і втілюються в життя заходи щодо зниження забруднення атмосфери викидами автомобільних двигунів, включаючи:

- удосконалення конструкцій двигунів і підвищення якостей виготовлення;
- пошук нових видів палива, використання різних присадок до нього;
- створення енергосилових установок для автомобілів, що викидають меншу кількість шкідливих речовин;
- розробка пристроїв, що знижують вміст шкідливих компонентів у відпрацьованих газах [126-129].

Практика показала, що досягти рівня токсичності відпрацьованих газів, що вимагається законодавством розвинених країн, першими трьома способами не можна. Тому набула широке поширення нейтралізація відпрацьованих газів в системі випуску. В цьому випадку токсичні пари, що вийшли з циліндрів двигуна, нейтралізуються до викиду їх в атмосферу [126, 127].

Існує декілька способів нейтралізації відпрацьованих газів у випускній системі автомобіля:

- окислення відпрацьованих газів шляхом подачі до них додаткового повітря в термічних реакторах; термічна нейтралізація не залежить від виду спалюваного палива, наявність присадок і дозволяє використовувати в двигунах етильований бензин, реактори особливо ефективні на режимах багатой суміші при великих навантаженнях, не виходять з ладу з часом, проте не дають повного окислення CO і CH та не відновлюють NOx, тому застосовуються як додаткові пристрої перед каталітичним нейтралізатором [126, 127].

- поглинання токсичних компонентів рідиною в рідинних нейтралізаторах; цей спосіб не набув широкого поширення через малу ефективність і необхідність частої заміни рідини [126, 127];

- використання каталітичних нейтралізаторів і фільтрів сажі у дизельних двигунах зараз найактуальніше [127, 128].

У кінці 60-х років були прийняті законодавчі акти про обов'язкове зниження рівня токсичних відпрацьованих газів нових автомобілів, що змусило промисловців удосконалити двигуни і розробляти системи нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ [128].

У 1995 році фірма "Емітек" розробила технологію підігріву каталізатора могутнім електричним опором. Заснована на цьому принципі модель каталізатора "6С" була встановлена на автомобіль БМВ "Альпіна В12" [128, 129].

У 2000 році з'явилася цеолітова пастка вуглеводнів (СН), що затримує їх при пуску двигуна і лише після його нагріву до 220°C подає їх готовому до роботи каталізатору [130].

Сучасні каталітичні нейтралізатори бувають окисні – платинові Pt або палладієві Pd, відновні – родієві Rh та трикомпонентні [131, 132].

Окисні каталітичні нейтралізатори забезпечують допалювання або доокиснення вуглеводнів СН і оксиду вуглецю (II) CO з утворенням води (H₂O) і оксиду вуглецю (IV) (CO₂). Часткове (не повне) окиснення вуглеводнів СН зумовлює утворення спиртів, альдегідів, кетонів, органічних кислот тощо. Окисні нейтралізатори дозволяють зменшити вміст CO та СН на 30...95% [132, 133].

Відновні нейтралізатори – призначені для зменшення концентрації оксидів азоту NO_x , що відновлюється з утворенням молекулярного азоту (N_2) і оксиду вуглецю (IV) (CO_2) [132-134].

Застосовують їх разом із окисними нейтралізаторами, для комплексного очищення викидів. Тобто маємо окисно-відновні нейтралізатори, де першим встановлено нейтралізатор відновлення, а другим – нейтралізатор окиснення [134].

Трикомпонентні (або селективні) каталітичні нейтралізатори – забезпечують скорочення вмісту трьох основних компонентів викидів: CO , CH і NO_x , завдяки одночасному перебігу окисно-відновних реакцій [134, 135].

Сучасний трикомпонентний каталітичний нейтралізатор складається з монолітного керамічного або металевого носія, із напиленим каталітично активним шаром. На поверхневий шар, як правило оксид алюмінію Al_2O_3 , наносять каталітично активний шар з благородних металів. Співвідношення вмісту благородних металів приблизно 40...60 % платини Pt, 30...40 % паладію Pd, 10...20 % родію Rh [136].

Щоб збільшити площу контакту каталітичного шару з вихлопними газами, на поверхню стільників наноситься підкладка завтовшки 20-60 мікронів з розвиненим мікрорельєфом. Це дозволяє максимально збільшити ефективну площу контакту каталітичного покриття з вихлопними газами - до величин близько 20 тис. m^2 [137, 138].

Щоб понизити шкідливі викиди при пуску холодного двигуна, іноді застосовують також вбудований в каталізатор адсорбер вуглеводнів. Як тільки робоча температура досягнута, останні "звільняються" і окислюються самим каталізатором. Серед подібних пристроїв можна назвати нейтралізатор "Едкет" фірми "Делфай" або "Пума" фірми "Корнінг" [137].

Трьохкомпонентний нейтралізатор найбільш ефективний при певному складі відпрацьованих газів. Це значить, що потрібно дуже точно витримувати склад горючої суміші біля так званого стехіометричного відношення повітря/паливо значення якого лежить у вузьких межах 14,5 - 14,7. Якщо горюча суміш буде багатше, то впаде ефективність нейтралізації CO і CH , якщо бідніше - NO_x [137].

Саме тому для ефективної нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ, має існувати зворотній зв'язок між системою впорскування палива та системою виведення відпрацьованих газів. А, тому, з метою керування процесом утворення паливної суміші, для підтримання його стехіометричного складу у випускному колекторі розміщують кисневий датчик - так званий лямбда-зонд. Вступаючи в електрохімічну реакцію з розжареними відпрацьованими газами подає сигнал про кількість кисню за даними якого блок керування робить висновки про склад суміші [138, 139].

На сучасних системах нейтралізації встановлюють також другий кисневий датчик для відстеження ефективності нейтралізації.

Вперше трьохкомпонентні нейтралізатори із зворотним зв'язком і кисневим датчиком з'явилися на двигунах автомобілів Volvo в 1977 році. А зараз ними оснащені всі без виключення автомобілі, які продаються на ринках цивілізованих країн [138-140].

У дизельному двигуні, як відомо паливо впорскується в циліндр, вже наповнений розжареним стислим повітрям і на утворення "правильної" горючої суміші просто не залишається часу. А, тому, навіть при якнайтоншому розпилуванні (для чого і підвищують тиск) не всі мікрочастинки палива встигають сполучитися з потрібною кількістю молекул кисню [141].

Зниження температури в циліндрі тільки погіршує картину, основна проблема дизеля, яку ще ніхто до кінця не вирішив - між зниженням викидів сажі і оксидів азоту: покращуючи один параметр, неминуче псуємо другою [142].

Сучасні комплексні системи очищення відпрацьованих газів для дизелів складаються з каталітичних і рідинних нейтралізаторів, а також фільтрів сажі [141, 142].

Фірни, що пропагують економічні легкові дизелі, за для екології значно ускладнюють конструкцію ДВЗ. Наприклад, пропонують встановлювати додаткові бачки з дорогими реактивами, що знижують кількість утворення сажі, яка нагромаджується у спеціальному нейтралізаторі сажі ("Пежо"). Окислити частинки, що нагромадилися в порах фільтру можна лише при достатньо високій температурі, якої відпрацьовані гази правильно побудованого дизеля не досягають [142].

Навіть якщо наказати керуючому двигуном контролеру періодично збільшувати подачу палива, все одно температури не вистачає. Рішення бачили в добавці до дизельного палива незначної кількості спеціального реагенту, що зберігається у окремому бачку (5 літрів вистачає на 80 000 км пробігу) [142]. Це знижувало температуру початку утворення шкідливих компонентів на 100°C і дозволяло, збагативши суміш, очищати фільтр але реалізувати ці рішення вельми складно [142].

У фільтрах нового покоління загальний принцип залишився колишнім: затримати і знищити, проте, щоб добитися потрібної для цього температури необхідно [142]:

- фільтр розмістили відразу за випускним колектором;
- через кожні 300-500 км пробігу контролеру необхідно вмикати режим багатофазного уприскування, збільшуючи подачу палива в циліндр;
- поверхня фільтруючого елемента покрита тонким шаром нового каталізатора, який додатково підвищує температуру відпрацьованих газів до необхідних $560-600^{\circ}\text{C}$.

Активні фільтри вже з'явилися на дизельних двигунах "Мерседес-Бенц" С- і Е-класів, який на початку 2004 року приживуться у "Опеля" і "Рено" [142].

Тойота розробила свою, не менше ефективну систему очищення, названу DPNR [142].

DPNR показала зниження вмісту сажі і NO_x на 80% в порівнянні з діючими сьогодні нормами, але використовується лише для дизелів останнього покоління, що працюють з системою високого тиску "комон рейл", на паливі з пониженим вмістом сірки [142].

Один з альтернативних методів нейтралізації відпрацьованих газів - використання низькотемпературної плазми [142]. Дослідження в Японії, США і Росії привели до створення експериментальних зразків устаткування, заснованого на плазмових технологіях. Розрядний пристрій включає вузол підведення відпрацьованих газів, кварцову скляну або керамічну трубку, що використовується як діелектричний бар'єр, і два електроди - центральний і зовнішній - у вигляді металевої сітки з неіржавіючої сталі. В розрядний пристрій подається струм від джерела, що формує імпульс напруги. Бар'єрний розряд

виникає при електричній напрузі 0,5-35 кВ і частоті проходження імпульсів 50-2000 Гц [142].

Відпрацьовані гази дизеля прямують в плазмохімічний реактор, заздалегідь пройшовши осушення у вологовідділювачі. В плазмохімічному реакторі до цих газів "підмішують" масло. Під дією електричного розряду в трубках розрядного пристрою частинки сажі активно абсорбують масло на своїй поверхні. Для видалення сажі, частинки якої знаходяться як би в масляному коконі, використовується масловіддільник. Сажа збирається в спеціальний контейнер, а масло після додаткового очищення у фільтрі продовжує циркулювати по замкнутому контуру. Таким чином, вдається забезпечити дуже високу ефективність поглинання частинок сажі до 100% у всьому діапазоні обертів дизеля [142].

В результаті багатостадійних хімічних реакцій оксиди азоту, сірки і вуглецю розкладаються на нетоксичні молекули кисню, азоту, сірки і вуглецю. Одночасно відбувається конверсія (перетворення) оксиду азоту в його діоксид, який зв'язується радикалом ОН в азотну кислоту у вигляді аерозолі. Аналогічні реакції протікають з діоксидом сірки і оксидом вуглецю, приводячи до утворення аерозолів. Аерозолі уловлюють в достатньо простих електрофільтрах, що забезпечують ступінь очищення до 98-99%.

По попередніх розрахунках, плазмове очищення обійдеться в 1,5-2 рази дешевше, ніж в існуючих багатокомпонентних пристроях. Не вимагається використовувати благородні метали, значно збільшується ресурс систем нейтралізації, скорочується час на їх технічне обслуговування. Проте до промислового випуску плазмохімічних реакторів (а значить, їх широкому використуванню) можна буде перейти, коли вдасться скоротити витрати потужності на електроживлення реактора. В досвідчених і експериментальних системах вони досягають 4-5% і більш від потужності дизеля[142].

В жовтні 2005 року, в країнах Євросоюзу для автомобілів почали діяти більш строгі екологічні норми Євро 4, які змінили нині діючі Євро 3. Це спонукало світових автовиробників активно працюють над тим, щоб зробити вихлоп двигунів якомога чистіше. Фахівці DaimlerChrysler створили одну з

найбільш ефективніших систем - SCR (Selective Catalytic Reduction), що можна перевести як «селективний каталітичний перетворювач») [145].

Принцип дії системи SCR полягає в хімічній реакції аміаку з оксидом азоту відпрацьованих газів, в результаті якого утворюються нешкідливий азот і водяна пара.

Селективний перетворювач складається з двох основних вузлів: безпосередньо каталітичного нейтралізатора із стільниковою структурою, вмонтованого в глушник автомобіля, і додаткового бака під аміачний замінник AdBlue. Отже установка системи SCR на автомобілі з моторами Євро 3 не зажадає кардинальної зміни їх конструкції [145].

Отже як видно з розглянутих джерел на даний час можна досить ефективно боротися з шкідливими викидами бензинових та дизельних двигунів забезпечуючи їх очищення 30-95% у залежності від режиму роботи двигуна. Така ступінь очищення дозволить використання на автомобілях різних видів альтернативних палив, використання яких на двигунах без систем очищення створювало підвищене забруднення навколишнього середовища CO, CH, NO та сажею.

Огляд і аналіз інформаційних джерел з проблем екологізації автотранспортного комплексу дозволяє зробити наступні висновки:

- автомобільний транспорт є основним забруднювачем територій міст і міських агломерацій і, зокрема, окремих локальних територій;
- проблеми оцінки ступеня впливу транспорту на навколишнє середовище досліджені недостатньо, підходи, що існують, в основному унікальні за критерієм застосованості;
- не виявлено досліджень взаємодії автомобілів у транспортному потоці і пов'язаних із цим змін кількості викидів шкідливих речовин;
- недостатньо досліджена проблема застосування критеріїв мінімізації шкідливого впливу при оптимізації перевезень;
- недостатньо пророблена законодавча база в галузі охорони навколишнього середовища при функціонуванні транспортного комплексу;
- існуючі методи зменшення шкідливого впливу на довкілля відпрацьованих газів ДВЗ є досить ефективними, забезпечують знешкодження

шкідливих викидів до 95%, а даними пристроями обладнується кожен сучасний автомобіль.

5.2 Оцінка безпеки дорожнього руху транспортних потоків

Безпека руху на перетинаннях доріг залежить від напрямку пересічних потоків руху, їхньої відносної інтенсивності, кількості конфліктних точок перетинань, розгалужень і злиттів потоків, а також від відстані між цими точками.

Помилки водіїв при проїзді через конфліктну точку є причинами дорожньо-транспортних випадків. Ймовірність подій тим вище, чим більше автомобілів проходить через конфліктну точку [163].

На перетинаннях вулиць, де траєкторії автомобілів, що повертають, розташовані віддалено один від одного (на відстані 10 – 15 м), кількість дорожньо-транспортних пригод у 2-3,5 рази менше, ніж на перетинах з близьким розташуванням траєкторій [164].

Кількість конфліктних точок при перетинанні чотирьох-смугової дороги складає 44, а на примиканні доріг – 13.

На перетинаннях доріг в одному рівні з віднесеним лівим поворотом кількість конфліктних точок у 3 рази менше, ніж на перетинаннях з прямим перетинанням потоків.

Для визначення небезпеки перетинання використовується показник [163]:

$$K_a = \frac{G \times K_r \times 10^7}{(M + N) \times 25}, \quad (5.1)$$

де G – кількість подій на перетинанні за один рік;

M – сумарна інтенсивність руху по головній дорозі авт./добу;

N – те ж, для другорядної дороги авт./добу;

K_r – коефіцієнт річної нерівномірності руху.

Можлива кількість подій на перетинанні визначається по формулі (5.2):

$$G = \sum_{i=1}^n g_i, \quad (5.2)$$

де g_i – небезпека конфліктної точки;

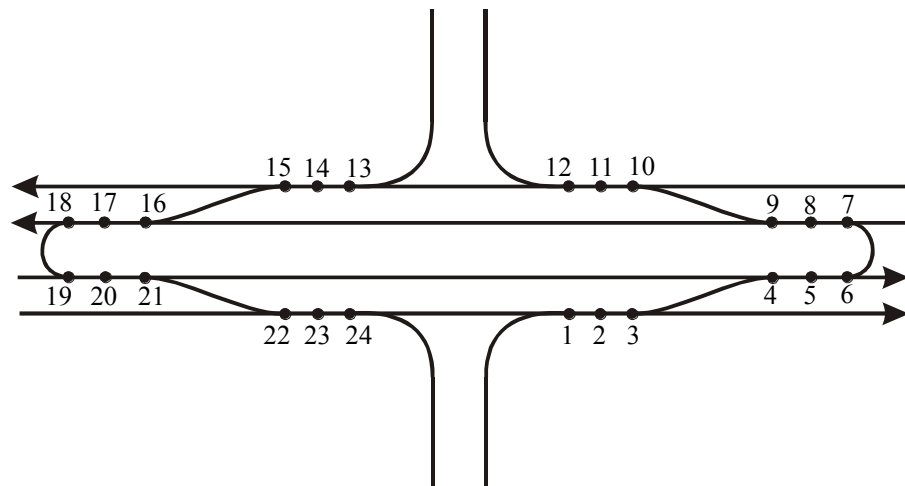
n – кількість конфліктних точок.

$$g_i = K_i M_i N_i \frac{25}{K_r} 10^7, \quad (5.3)$$

K_i - величина відносної аварійності;

M_i, N_i – інтенсивність руху пересічних у конфліктній точці потоків, авт./добу;

K_r – коефіцієнт річної нерівномірності руху.



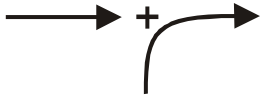
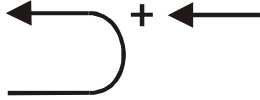

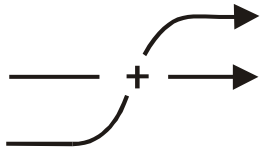
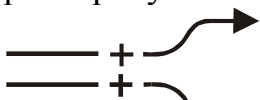

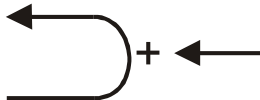
1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 – точки злиття потоків; 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 – точки переплетення потоків; 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 – точки поділу потоків.

Рис. 5.1 – Схема конфліктних точок на перетинаннях в одному рівні з віднесеним лівим поворотом з безперервним рухом

Режим і умови руху на перетинаннях доріг з віднесеним лівим поворотом на чотирисмугових дорогах відрізняються від умов руху на двосмугових дорогах. Так були проаналізовані дорожньо-транспортні випадки на перетинаннях і

примиканнях в одному рівні на автомагістралях і були визначені величини відносної аварійності конфліктних точок на цих перетинаннях (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Характеристика перехресть

| Взаємодія потоків | Напрямок руху | Характеристика перехрестя | Відносна аварійність |
|----------------------|--|---|---------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Злиття потоків | Правий поворот  | Перехідно-швидкісна смуга відсутня $R=10 - 15$ м $R=15 - 25$ м 3 перехідно-швидкісною смугою | 0,009 0,001 0,00027 |
| | Злиття після розвороту  | Відсутня додаткова смуга (розгону) на ділянці після розвороту Існує перехідно-швидкісна смуга | 0,0042 0,00025 |
| |  | Перехідно-швидкісна смуга довжиною менш 150 м, більш 250 м | 0,00061 0,00039 |
| Переплетення потоків |  | Відстань від місця примикання до ділянки розвороту менш 180 м 250 м 400 м 500 м | 0,0023 0,0012 0,00035 0,0003 |
| Розподіл потоків | На ділянці розвороту  | Гальмовий шлюз відсутній існує | 0,0069 0,0008 |
| |  | Перехідно-швидкісна смуга відсутня існує | 0,0044 0,00013 |
| Перетинання потоків | Розворот  | При радіусі розвороту $R=7,0$ м $R=9,0$ м $R=12,5$ м $R=15,0$ м | 0,057 0,018 0,007 0,005 |

Безпека руху на ділянках розворотів залежить від можливості поступового зниження швидкості руху перед розворотом і розгону після розвороту.

Особливо важкі умови руху створюються при недостатній довжині смуги розгону, коли водії воліють переходити відразу на ділянці розвороту на праву смугу з перетинанням головного потоку. У цих випадках виникає небезпека дорожньо-транспортних випадків.

У залежності від величини показника аварійності для перетинання з віднесеним лівим поворотом можуть бути рекомендовані наступні заходи щодо підвищення безпеки руху:

$K_a < 5$ – розмітка проїзної частини, забезпечення оглядовості на місці примикання доріг;

$K_a = 5-8$ – збільшення довжини розгінної смуги на ділянці розвороту, відстані від місця примикання до ділянки розвороту, радіуса розвороту;

$K_a > 12$ – будівництво перетинань у різних рівнях [163].

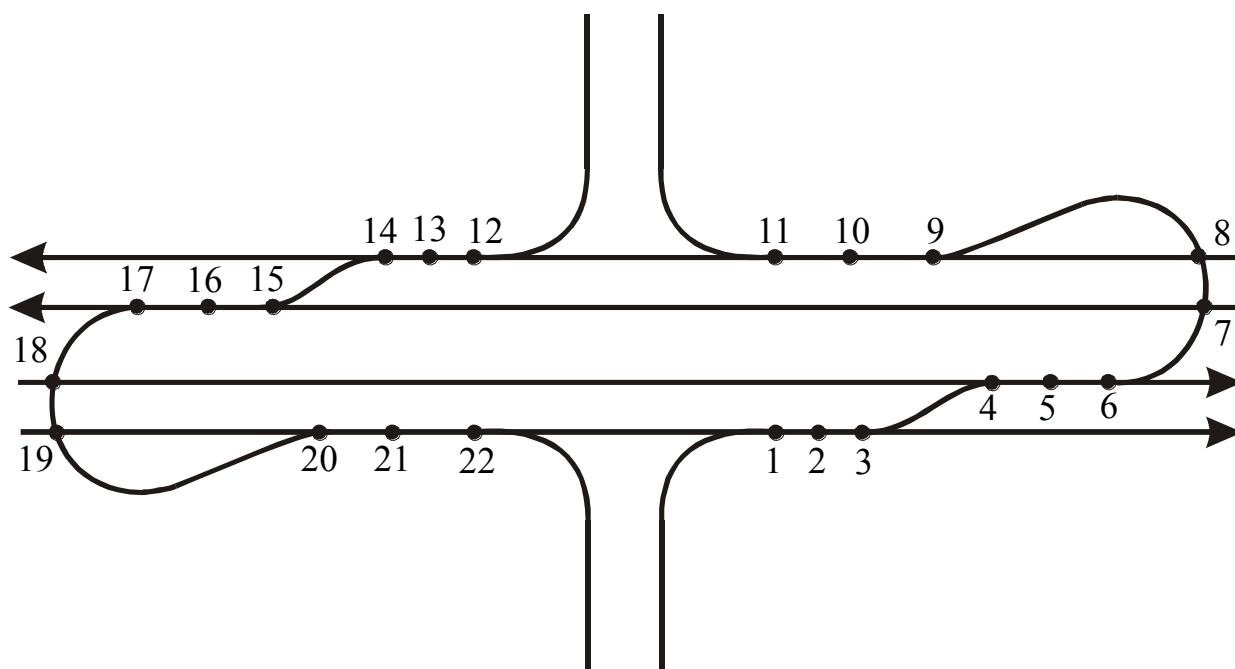


Рис. 5.2 – Схема конфліктних точок на перетинаннях в одному рівні з віднесеним лівим поворотом

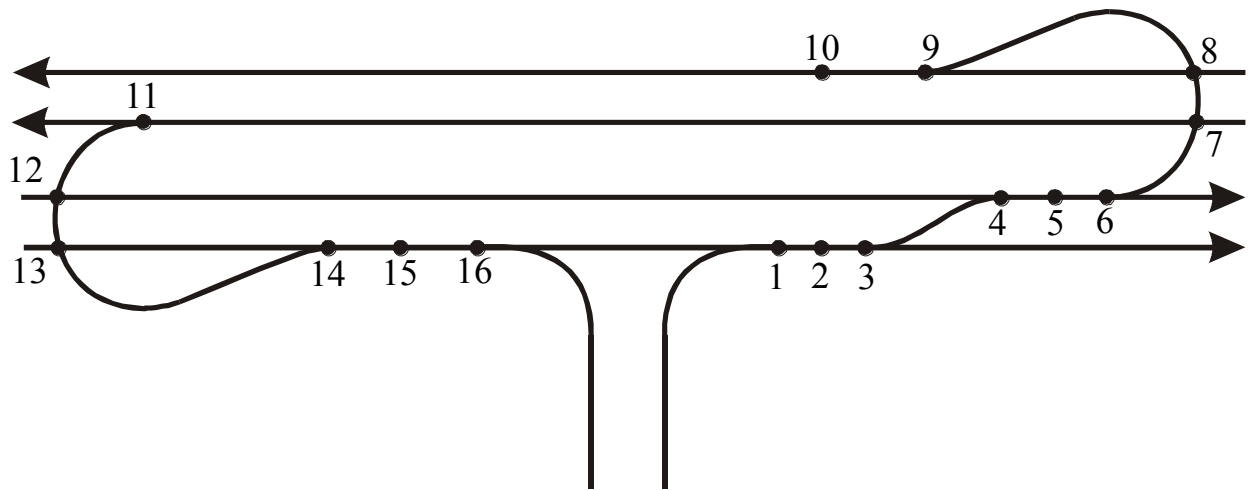


Рис. 5.3 – Схема конфліктних точок на примиканнях в одному рівні з віднесеним лівим поворотом

Розроблені коефіцієнти відносної аварійності дають можливість оцінити безпеку руху на перетинаннях доріг на автомагістралях.

5.3 Прогнозування коефіцієнту зчеплення від поверхневої обробки дорожнього покриття

Підвищення безпеки дорожнього руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами наряду з іншими заходами досягається також поліпшенням дорожніх умов – поверхневою обробкою дорожнього покриття.

Термін поновлення поверхневої обробки дорожнього покриття визначається з урахуванням дорожньо-кліматичних зон України, породи кам'яних матеріалів, меж їх міцності при стиску за залежностями [163, 164].

$$\varphi(t) = \varphi_0 e^{-0,07 \cdot \beta \cdot t} + 5 \cdot 10^{-4} \beta \cdot t^2, \quad (5.4)$$

$$\beta = A + 10^{-4} \frac{n \cdot N}{K_l}, \quad (5.5)$$

де β – параметр, що враховує застосовані для поверхневої обробки кам'яні матеріали, кліматичні та силові фактори, що діють на дорожнє покриття;

A – параметр, що враховує погодно-кліматичні умови та застосовані кам'яні матеріали. Для широко розповсюдженої на Україні III дорожньо-кліматичної зони $A = 0,54$;

n – коефіцієнт приведення, що враховує розподілення транспорту по ширині проїзної частини (дивись примітку до табл. 3.2 ВСН 46-83 [2]), $n=0,5$;

N – сумарна середньодобова інтенсивність руху на розв'язці в одному рівні з віднесеними лівими поворотами, авт./добу, $N=11894 \approx 12000$ авт./добу;

K_L – частка легкових автомобілів у загальному складі руху автомобільного транспорту, $K_L=0,5$;

$\varphi(t)$ – значення коефіцієнта зчеплення коліс транспортних засобів з поверхнею дорожнього покриття після одного, двох, трьох, чотирьох, п'яти років служби поверхневої обробки;

φ_0 – початкове значення коефіцієнта зчеплення при $t=0$.

При цьому важливе значення надається як терміну зниження коефіцієнту зчеплення, так і його числовій величині в порівнянні з початковим значенням.

Однак практика показує, що коефіцієнти зчеплення для нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту доріг не можуть бути однакові з коефіцієнтами зчеплення для експлуатованих доріг. Останні за числовою величиною значно менші. Мінімальні значення коефіцієнтів зчеплення за призначенням наведені в табл. 5.2.

Легкі умови руху автомобільного транспорту охоплюють прямі ділянки або криві радіусом 1000 м і більше; горизонтальна ділянка або ділянка з позовжнім похилом не більше 30 %; з елементами поперечного профілю з укріпленням узбіччя; без перехрещень в одному рівні; при рівні завантаження 0,3 [167].

Таблиця 5.2 – Значення коефіцієнтів зчеплення

| Умови руху | Мінімальні значення коефіцієнтів зчеплення | |
|------------|--|---------------------------|
| | за ДБН В.2.3-4 | на експлуатованих дорогах |
| Легкі | 0,45 | 0,30 |
| Утруднені | 0,50 | 0,35 |
| Небезпечні | 0,55 | 0,45 |

Утруднені умови руху транспорту включають ділянки на кривій в плані радіусом від 250 м до 1000 м; на спуску та підйомі з похилом від 30 до 60 %; ділянки в зоні звуженої проїзної частини (при реконструкції); ділянка дороги, віднесена до легких умов руху, при рівні завантаження в межах 0,3-0,5.

До небезпечних умов руху віднесені ділянки з видимістю менше розрахункової; підйом і спуск з похилом, що перевищує допустимі значення, зона перехрещення або примикання в одному рівні з автомобільними дорогами і залізницями (± 200 м); перехідно-швидкісна смуга та смуга основної проїзної частини в межах від початку та до кінця перехідно-швидкісних смуг; ділянка, віднесена до легких і утруднених умов, при рівні завантаження більше 0,5.

Отже, коли визначити зниження коефіцієнтів зчеплення коліс транспортних засобів з дорожнім покриття проїзної частини до значень таблиці 5.1, пов'язаних з експлуатованими дорогами, то встановимо мінімальні терміни служби і поновлення поверхневої обробки, що відповідають задовільному стану безпеки дорожнього руху.

Виконаємо необхідні розрахунки зниження коефіцієнтів зчеплення за залежностями (1-2) для вихідних даних, а саме:

$$A = 0,54; n=0,5; N=12000 \text{ авт./добу}; K_t=0,5.$$

Інтенсивність руху транспорту $N=12000$ авт./добу відповідає перетину доріг I-б та III категорій.

Спочатку визначимо параметр β за вищенаведеними вихідними даними та залежністю (5.1):

$$\beta = 0,54 + \frac{1}{10000} \cdot \frac{0,5 \cdot 12000}{0,5} = 0,54 + 12 = 1,74.$$

Тепер виконаємо прогнозування величини коефіцієнтів зчеплення при умові існування поверхневої обробки дорожнього покриття один, два, три, чотири, п'ять років, коли початкове значення $j_0=0,45$.

Значення коефіцієнтів зчеплення і періодів поновлення поверхневої обробки, що отримані за залежністю (5.3), наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Значення коефіцієнтів зчеплення від часу поверхневої обробки

| Умови руху | Початкове значення коефіцієнтів зчеплення | Значення коефіцієнтів зчеплення при термінах існування поверхневої обробки, роки | | | | |
|------------|---|--|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 2,5 | 3 | 3,7 |
| Легкі | 0,45 | 0,40 | 0,36 | 0,34 | 0,32 | 0,30 |
| Утруднені | 0,50 | 0,44 | 0,40 | 0,37 | 0,35 | - |
| Небезпечні | 0,55 | 0,53 | 0,47 | 0,45 | - | - |

Наведені у таблиці 5.2 дані показують, що зношеність шорсткості поверхневої обробки дорожнього покриття відбувається з роками. Саме це і

призводить до зменшення коефіцієнтів зчеплення шин транспортних засобів з поверхнею дорожнього покриття. Так, навіть при легких умовах руху за 3,7 років експлуатації поверхнева обробка досягає мінімально допустимого значення, стає непридатною для подальшої задовільної експлуатації і повинна поновлюватись.

Для влаштування розв'язок в одному рівні з віднесеними лівими поворотами на дорогах загального користування найбільш прийнятними є легкі умови руху транспорту, тобто прямі ділянки або криві радіусом 1000 м і більше; горизонтальна ділянка або ділянка з поздовжнім похилом не більше 30 ‰; з елементами поперечного профілю з укріпленням узбіччя; без перехрещень в одному рівні; при рівні завантаження 0,3. Такі дорожні умови відповідають незначним витратам матеріально-технічних і фінансових ресурсів на будівництво названих розв'язок та максимальному створенню безпеки дорожнього руху.

Як виходить з табл. 5.1-5.2, поновлення поверхневої обробки дорожнього покриття проїзної частини на розв'язках в одному рівні з віднесеними поворотами ліворуч необхідно здійснювати через 3-7 років. Це термін підтримки якісного стану дорожніх умов на належному технічному рівні сприяє не появі місць концентрації дорожньо-транспортних подій і відповідає безпеці дорожнього руху транспортних засобів.

5.4 Оцінка підвищення безпеки дорожнього руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами

Безпека дорожнього руху відповідно з дорожньою термінологією [163] відображає якість дорожнього руху, що визначається рівнем його аварійності. Це означає, чим вище рівень аварійності, тим нижча безпека дорожнього руху і навпаки. На різних автомобільних дорогах чи їх ділянках рівень аварійності залежить від багатьох факторів, наприклад, категорії дороги, типу дорожнього покриття, інтенсивності руху, складу транспортних засобів тощо.

Позитивне вирішення проблеми підвищення безпеки дорожнього руху вимагає знання причин виникнення дорожньо-транспортних подій (ДТП) та розробки ефективних заходів усунення цих причин. Згідно з прийнятою системою обліку [172], ДТП в Україні розділені на 10 видів: зіткнення; перекидання

транспортних засобів (ТЗ); наїзд на ТЗ, що стоїть; наїзди на перешкоди; наїзди на пішоходів; наїзди на велосипедистів; наїзди на гужовий транспорт; наїзди на тварин; падіння пасажирів; падіння вантажів.

Розподіл ДТП за їх видами в кількісних значеннях за 11 місяців 2015 р. в м. Івано-Франківську наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Розподіл ДТП в 2015р. за їх видами в м. Івано-Франківськ

| Вид ДТП, і | Кількість ДТП в долях одиниці, δ_i | Абсолютна кількість ДТП, Z_i |
|---------------------|--|-----------------------------------|
| Зіткнення | 0,559 | 549 |
| Наїзд на: | | |
| - ТЗ, що стоїть | 0,253 | 248 |
| - перешкоду | 0,062 | 61 |
| - пішохода | 0,102 | 100 |
| - велосипедиста | 0,022 | 22 |
| - гужовий транспорт | 0,001 | 1 |
| - тварину | 0,001 | 1 |
| Сума | 1,0 | $Z = 982$ |

Наведені в таблиці 5.4 показники δ_i визначені як відношення абсолютної кількості конкретного виду Z_i ДТП до загальної їх кількості Z ДТП:

$$\delta_i = \frac{Z_i}{Z}. \quad (5.6)$$

Крім цього через загальну кількість ДТП та ділянок і місць їх скупчення отримаємо математичне очікування (середнє значення) ДТП, що припадає на кожну ділянку (місце):

$$\bar{m} = \frac{Z}{N} = \frac{982}{521} = 1,88, \quad (5.7)$$

де \bar{m} – математичне очікування (середнє значення) ДТП;

Z – загальна кількість ДТП;

N – кількість розглянутих ділянок (місць) скупчення ДТП, $N = 521$.

Основними причинами ДТП 55,9 % є зіткнення, що переважно відбуваються через високу густоту автотранспорту на дорогах – зокрема маршрутних таксі.

З метою підвищення екологічної безпеки автотранспортної мережі м. Івано-Франківська було прийнято рішення удосконалити схему руху транспорту в тому числі і маршрутних таксі яке відбувалося за безпосередньою участю автора, що підтверджено актом впровадження (див. Додаток Б).

За результатами проведеної роботи на рис. 5.4 наведено удосконалену схему руху маршрутних транспортних засобів м. Івано-Франківська. Наведена схема маршрутних мереж рис. 5.4 розроблялася із застосуванням:

- смуг руху для маршрутних транспортних засобів;
- оптимізацією маршрутів;
- зміною організації руху і стоянок немаршрутних автотранспортних засобів;
- встановлення додаткових секцій світлофорів та дозволеного прового повороту на червоний сигнал світлофору;
- запровадження віднесеного правого повороту на однорівневих розв'язках.

Розподіл ДТП за їх видами в кількісних значеннях за 11 місяців 2016 р. В м. Івано-Франківську наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Розподіл ДТП в 2016р. за їх видами в м. Івано-Франківськ

| Вид ДТП, i | Кількість ДТП в долях одиниці, δ_i | Абсолютна кількість ДТП, Z_i |
|---------------------|---|--------------------------------|
| Зіткнення | 0,483 | 385 |
| Наїзд на: | | |
| - ТЗ, що стоїть | 0,221 | 176 |
| - перешкоду | 0,065 | 52 |
| - пішохода | 0,110 | 88 |
| - велосипедиста | 0,020 | 16 |
| - гужовий транспорт | 0 | 0 |
| - тварину | 0 | 0 |
| Сума | 1,0 | $Z = 717$ |

Загальну кількість ДТП, що припадає на кожну ділянку (місце):

$$\bar{m} = \frac{Z}{N} = \frac{717}{521} = 1,37 .$$

Отже в результаті запровадження зазначених вище заходів нами отримано зниження кількості ДТП по м. Івано-Франківську на 26,9 %, а також знижено математичне очікування ДТП на дослідних ділянках від 1,88 до 1,37.

З використанням \bar{m} будуються математичні моделі, що дозволяють визначити ймовірності впливу конкретних дорожніх заходів на безпеку дорожнього руху.

Однозначно встановити причину дорожньо-транспортних подій фактично неможливо. ДТП виникають в результаті збігу декількох несприятливих обставин.

На розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами для забезпечення безпеки дорожнього руху застосовується конкретний комплекс призначених дорожніх заходів, до якого відносяться:

- розмітка проїзної частини автомобільної дороги на смуги руху;
- влаштування шорсткої поверхневої обробки проїзної частини з коефіцієнтом зчеплення коліс транспортних засобів з поверхнею покриття не менше ніж $\varphi_{\phi} = 0,3$;
- організація дорожнього руху (ОДР) технічними засобами ОДР (дорожніми знаками, розміткою, світлофорами, напрямними пристроями на дорогах та спорудах);
- влаштування внутрішньої швидкісно-перехідної смуги гальмування перед віднесеними лівими поворотами;
- влаштування двобічних бар'єрних металевих огорожень II ДД на роздільній смузі.

Визначення ймовірностей які задовольняють умовам безпеки дорожнього руху від запропонованих заходів виконано на підставі математичних моделей, наведено у табл. 5.6, а також у розрахунках за текстом нижче.

$$l_{\phi} = \frac{b-a}{2} = \frac{3,75-2,5}{2} = 0,625, \quad (5.8)$$

де l_{ϕ} – відстань від зовнішньої грані борту автомобіля до внутрішньої площини бордюру, м;

b – нормативна ширина смуги руху транспортних засобів, м;

a – ширина кузова автомобіля, м.

Таблиця 5.6 – Визначення ймовірностей впливу призначених заходів на поліпшення безпеки дорожнього руху

| Математичні моделі | Перелік заходів для поліпшення безпеки дорожнього руху | Значення показників | Ймовірність забезпечення безпеки дорожнього руху, P |
|--|--|-------------------------|---|
| $P(\xi = l_{\phi}) = 1 - e^{-0,7434 \cdot l_{\phi}}$ | Розмітка проїзної частини автомобільної дороги на смуги руху | $l_{\phi} = 0,625$ | 0,3716 |
| $P(\xi = l_{\phi}) = 1 - e^{-2,3856 \cdot l_{\phi}}$ | Влаштування шорсткої поверхневої обробки проїзної частини з коефіцієнтом зчеплення коліс транспортних засобів з покриттям не менше ніж $\varphi_{\phi} = 0,3$ | $\varphi_{\phi} = 0,30$ | 0,5086 |
| $P(\xi = l_{\phi}) = 1 - e^{-1,9276 \cdot l_{\phi}}$ | Організація дорожнього руху технічними засобами організації дорожнього руху (дорожніми знаками, розміткою, світлофорами, напрямними пристроями на дорогах та спорудах) | $l_{\phi} = 1,75$ | 0,9657 |
| $P(\xi = l_{\phi}) = 1 - e^{-1,9276 \cdot l_{\phi}}$ | Влаштування внутрішніх швидкісно-перехідних смуг гальмування перед віднесеними лівими поворотами | $l_{\phi} = 1,25$ | 0,9101 |
| $P(\xi = l_{\phi}) = 1 - e^{-1,9276 \cdot l_{\phi}}$ | Влаштування двобічних бар'єрних металевих огорожень II ДД на роздільній смузі | $l_{\phi} = 2,0$ | 0,9853 |

Ймовірнісна модель буде такою:

$$P \{ \leq l_{\phi} \} = 1 - e^{-\bar{m} \delta_i / l_{\phi}} = 1 - e^{-4,9035 \cdot 0,1516 \cdot 0,625} = 0,3716. \quad (5.9)$$

де \bar{m} – математичне очікування (середнє значення) ДТП;

δ_i – кількість ДТП в долях одиниці.

Тепер наведемо ймовірнісну модель для оцінки ймовірності безпеки дорожнього руху від шорсткості поверхневої обробки:

$$P \{ \leq \varphi_{\phi} \} = 1 - e^{-\bar{m} \delta_i \varphi_{\phi}} = 1 - e^{-4,9035 \cdot 0,483 \cdot 0,30} = 0,5086. \quad (5.10)$$

Значення $\delta_i = 0,483$ взято з літературного джерела [173].

Для дорожніх заходів, пов'язаних з організацією дорожнього руху та влаштуванням двобічних бар'єрних металевих огорожень II ДД маємо (рис. 5.5):

$$l_{\phi} = \frac{2,75}{2} + 0,625 = 2,0 \text{ м.} \quad (5.11)$$

Ймовірнісну модель запишемо у вигляді:

$$P \{ \leq l_{\phi} \} = 1 - e^{-\bar{m} \delta_i / l_{\phi}} = 1 - e^{-4,9035 \cdot 0,3931 \cdot 2,0} = 0,9853. \quad (5.12)$$

Величина l_{ϕ} для внутрішньої швидко-перехідної смуги гальмування дорівнює:

$$l_{\phi} = b - a = 3,75 - 2,5 = 1,25 \text{ м.} \quad (5.13)$$

Ймовірнісна модель матиме вигляд:

$$P_{\left\langle = l_{\phi} \right\rangle} = 1 - e^{-\frac{m\delta}{l_{\phi}}} = 1 - e^{-4,9035 \cdot 0,3932 \cdot 1,25} = 0,9101. \quad (5.14)$$

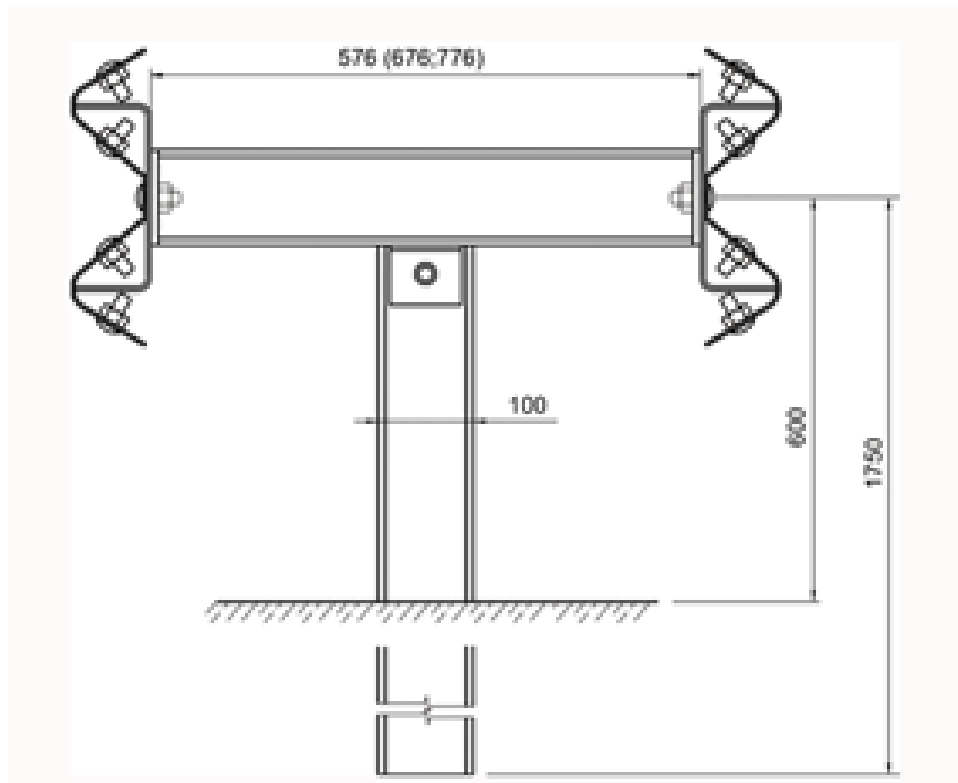


Рис. 5.5 – Двобічні бар’єрні металеві огороження групи II ДД

Тепер виконаємо оцінку ймовірності поліпшення безпеки дорожнього руху на розв’язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами від сумісного впливу заходів, запропонованих в табл. 5.6 з використанням ймовірнісної моделі (4.46) при незначному її видозмінненні:

$$P_k = 1 - \prod_{j=1}^h \left\langle - P_j \right\rangle \quad (5.15)$$

де P_k — ймовірність впливу комплексу дорожніх заходів (ймовірнісних подій) на забезпечення безпеки дорожнього руху

P_j — ймовірність впливу j -того дорожнього заходу на поліпшення безпеки дорожнього руху;

$\prod_{j=1}^h (1 - P_j)$ — добуток різниць не впливу комплексу дорожніх заходів на поліпшення безпеки дорожнього руху;

$1 - \prod_{j=1}^h (1 - P_j)$ — різниця, що характеризує ймовірність впливу комплексу дорожніх заходів на поліпшення безпеки дорожнього руху на розв'язці в одному рівні з віднесеними лівими поворотами.

Розглянемо приклади оцінки ймовірностей впливу комплексу дорожніх заходів на поліпшення безпеки дорожнього руху, використовуючи залежність (5.15) та значення ймовірностей, наведених в табл. 5.5.

$$P_k = 1 - \prod_{j=1}^{h=5} (1 - P_j) = 1 - (1 - 0,3716) \times (1 - 0,5086) \times (1 - 0,9657) \times (1 - 0,9101) \times (1 - 0,9853) = 1 - 0,6284 \times 0,4914 \times 0,0343 \times 0,0899 \times 0,0343 = 1 - 0,00033 = 0,99967. \quad (5.16)$$

Ще одним прикладом розглянемо поліпшення безпеки дорожнього руху при виконанні тільки двох дорожніх заходів на розв'язці:

$$P_k = 1 - \prod_{j=1}^{h=5} (1 - P_j) = 1 - (1 - 0,3716) \times (1 - 0,5086) = 1 - 0,6284 \times 0,4914 = 1 - 0,3088 = 0,6912. \quad (5.17)$$

З приведених розрахунків випливає, що при виконанні комплексу навіть з двох дорожніх заходів ймовірність безпеки дорожнього руху підвищується і оцінюється значенням $P_k = 0,6912$.

Висновки

1. Здійснено огляд методів підвищення екологічної безпеки транспортних потоків.
2. Проаналізовано чинники, що впливають на безпеку руху на перетинаннях доріг, а саме напрямок пересічних потоків руху, їхня відносна інтенсивність, кількість конфліктних точок перетинань, розгалужень і злиттів потоків, відстань між цими точками.
3. Удосконалено методологію прогнозування коефіцієнту зчеплення від поверхневої обробки дорожнього покриття.
4. Запровадження заходів з підвищення екологічної безпеки транспортних мереж нами отримано зниження кількості ДТП по м. Івано-Франківську на 26,9 %, а також знижено математичне очікування ДТП на дослідних ділянках від 1,88 до 1,37.
5. З виконаних досліджень випливає, що при виконанні комплексу запропонованих заходів ймовірність безпеки дорожнього руху підвищується і оцінюється значенням $P_k = 0,999967$, а при застосуванні лише двох дорожніх заходів ймовірність безпеки дорожнього руху підвищується до значення $P_k = 0,6912$.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішене важливе науково-практичне завдання з підвищення екологічної безпеки транспортних потоків шляхом упорядкування дорожнього руху. Стосовно мети та задач дослідження досягнуто наступне:

1. На основі аналізу методологій впливу транспортних засобів на довкілля теоретично і практично досліджено зв'язок системи «дорожні умови-транспортні потоки-навколишнє середовище». Приведені природні і техногенні фактори, які формують хімічне і фізичне забруднення довкілля автомобільним транспортом міських агломерацій.

2. Для дослідження компонентного складу сумарних викидів шкідливих речовин в залежності від кількості та типу автомобілів на перехрестях протягом 2013-2014 років проведено моделювання за допомогою багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу. Встановлено, що найбільший вплив на концентрацію шкідливих викидів мають кількість автобусів з бензиновим та дизельним двигуном, що характерно для всіх груп шкідливих викидів. На викиди діоксиду азоту NO_2 мають суттєвий вплив автобуси та вантажівки з дизельним двигуном.

Аналізуючи розрахунки розсіювання, виявлено перевищення допустимого рівня забруднення за оксидами вуглецю, азоту та вуглеводнями в 1,3 – 1,5 рази. Найбільші перевищення спостерігалися на вузьких вулицях з інтенсивним рухом автомобільного транспорту і щільною забудовою, тобто там, де погані умови провітрювання території, тому відбувається повільне розсіювання шкідливих речовин.

3. Проведено теоретичне дослідження дорожніх умов як стохастичних характеристик та розроблена математична модель оцінки ймовірностей забезпечення дорожнього руху, що дозволяє попередити дорожньо-транспортні пригоди від сукупності дій різноманітних факторів та оцінити комплекс дорожніх заходів з підвищення безпеки руху.

4. Удосконалено методологію прогнозування коефіцієнта зчеплення від поверхневої обробки дорожнього покриття для поліпшення дорожніх умов руху автотранспорту. Встановлено, що для легких умов рух мінімальний коефіцієнт зчеплення на дорожньому полотні може досягти 0,30, для утруднених – 0,35, а для небезпечних – 0,45.

5. За допомогою математичного моделювання оцінено підвищення безпеки дорожнього руху в межах міських агломерацій на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами. Встановлено, що найбільш вагомим впливом на безпеку дорожнього руху є такі заходи, як оптимізація дорожнього руху транспортних засобів з імовірністю забезпечення безпеки – 0,9657, влаштування двобічних бар'єрних металевих огорожень на розділювальній смузі – 0,9853.

6. На основі теоретичних і практичних досліджень запропоновано оптимізаційну схему маршрутної мережі міста, що значно підвищує рівень екологічної безпеки та безпеки руху. Вона охоплює комплекс з теоретичного і практичного аналізу умов дорожнього руху та структуру транспортного потоку.

Встановлено, що за рахунок упорядкування дорожнього руху концентрація шкідливих речовин, таких як CO, NO₂, CH та SO₂ зменшилась відповідно на 60,7 %, 44,2 %, 52,6 % та 34,7 %. Коефіцієнт кореляції між змінними знаходиться в межах від 0,881 до 0,9745.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Луканин В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда. Учеб. пособие для вузов / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, Ю.В. Трофименко. – М.: ИНФРА, 1998. – 408 с.
2. Дрю Д.Р. Теорія транспортних потоків і керування ними. – М.: Транспорт, 1972, – 423 с.
3. Сильянов В.В. Теорія транспортних потоків у проектуванні доріг і організації руху. – М.: Транспорт, 1977, – 303 с.
4. Сильянов В.В., Еремін В.М., Роботяга М.Т. Математичне моделювання руху потоків автомобілів на ЕОМ і АВМ із метою оцінки пропускної здатності доріг і ефективності засобів організації руху. – У кн.: Призначення параметрів траси автомобільних доріг. – Праці/МАДИ, 1976, вип. 99, с. 34-42.
5. Сильянов В.В. Уніфіковане імітаційне моделювання на ЕОМ транспортних потоків у проектуванні доріг і організації руху. – Праці/МАДИ, 1976, вип. 128, с. 106-113.
6. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н., Лекції по теорії складних систем. – М.: Радянське радіо, 1973, - 440с.
7. Методичні питання побудови імітаційних систем. Огляд /Ємельянов С.В., Калашников В.В. і ін. – М.: Міжнародний центр наукової і технічної інформації, 1978, - 88с.
8. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К.: Держбуд України, 2007. – 84 с.
9. ДБН А.2.2-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище. – К.: Держбуд України, 2003. – 73 с.
10. Забишний Я. О. Обґрунтування меж інтенсивності руху транспорту для ефективного функціонування розв'язок в одному рівні з віднесеними лівими поворотами / Я.О. Забишний // Автошляховик України - 1997. №3 - с.41-43.
11. Шустова, Д.В. Проблемы экологии на транспорте / Д.В. Шустова, Є.О. Воробйов // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. – К., 2012. – С. 20–21

12. Криворучко О. М. Менеджмент якості на підприємствах автомобільного транспорту: автореф. дис. д-ра екон. наук: 08.00.04 / Українська держ. академія залізничного транспорту. — Х., 2007. — 36с
13. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта. — М., 1996. — 339 с.
14. Масленникова И.С. Экологический менеджмент на транспортных коммуникациях. — СПб: Недра, 1997. — 135 с.
15. Міхно М. В. Зниження витрати палива та шкідливих викидів рухомим складом автомобільного транспорту раціональним вибором експлуатаційних факторів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Український транспортний ун-т. — К., 1998. — 16с.
16. Устименко В. С. Поліпшення екологічних показників автомобілів та розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Державне підприємство "Державний автотранспортний науково- дослідний і проектний ін-т". — К., 2006. — 178с
17. Douaud A., Girard C. Which are the engine and fuel technologies for the sustainable development of road transport? // WEC Journal. — 2007. —July. — P. 10—21.
18. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене / Ю.Ф. Гутаревич. — К.: Арістей, 2008. — 296 с.
19. Солуха Б.В., Фукс Г.Б. Міська екологія: навч. посіб. — К: КНУБА, 2004 — 338 с.
20. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт. Навч. Посібник / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Корпач. — К.: Арістей, 2006. — 292 с.
21. Зотов Л.Л. Экологическая безопасность производства и автомобильного транспорта: Учеб. Пособие / Л.Л. Зотов. — СПб.: СЗТУ, 2003. — 90 с.
22. Павлова Е.И. Экология транспорта: Учебник для вузов / Е.И. Павлова. — М.: Транспорт, 2000. — 248 с.
23. Сарбаев В.И. О загрязнении природной среды транспортными потоками // Материалы и технологии XXI века. Ч. 111. - Пенза, 2001. С. 88-90.
24. Сарбаев В.И., Воробьев А.Е. К вопросу об оценке экологической опасности транспортных систем // Риски в современном мире: идентификация и защита /

материалы V 111 Международных научных чтений Белые ночи-2004. С-П., Изд. МАНЭБ, 2004. С. 306-308.

25. Колосюк Д.С. Експлуатаційні матеріали. Підручник / Д.С. Колосюк, Д.В. Зеркалов. – К.: Основа. – 2003. – 200 с.

26. В. В. Амбарцумян, В. Б. Носов, В. И. Тагасов. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 1999.

27. Аксенов И.Я. Аксенов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. – М.: Транспорт, 1986. – 176с.

28. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В и др. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учебное пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 1998 – 408с.

29. Валова В.Д. Основы экологии: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский Дом «Дашков и К0», 2001.

30. Куров Б.М. Как уменьшить загрязнение окружающей среды автотранспортом? // Россия в окружающем мире. - Аналитический ежегодник. 2000 г.

31. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2000 – 30с.

32. Бригадир І.В. Правове регулювання забезпечення екологічної безпеки в галузі автомобільного транспорту: автореф. дис. канд. юрид. наук: 12.00.06 / Національна юридична академія України ім. Ярослава Мудрого. — Х., 2008. — 20 с.

33. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А. Г., Корпач А. О. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Національна транспортна академія. — К. : Основа, 2002. — 312с

34. Криворучко О. М. Менеджмент якості на підприємствах автомобільного транспорту: автореф. дис. д-ра екон. наук: 08.00.04 / Українська держ. академія залізничного транспорту. — Х., 2007. — 36с

35. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта. — М., 1996. — 339 с.

36. Масленникова И.С. Экологический менеджмент на транспортных коммуникациях. — СПб: Недра, 1997. — 135 с.

37. Міхно М. В. Зниження витрати палива та шкідливих викидів рухомих складом автомобільного транспорту раціональним вибором експлуатаційних факторів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Український транспортний ун-т. — К., 1998. — 16с.
38. Устименко В. С. Поліпшення екологічних показників автомобілів та розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Державне підприємство "Державний автотранспортний науково- дослідний і проектний ін-т". — К., 2006. — 178с
39. Ямамото Акихиро. Экологические мероприятия и переработка отходов на транспорте // Yuso tenbo = Quart. J. Distrib. and Transp. — 2005. — № 244. — С.21—28.
40. Douaud A., Girard C. Which are the engine and fuel technologies for the sustainable development of road transport? // WEC Journal. — 2007. — July. — P. 10—21.
41. Аксенов И.Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И. Я. Аксенов. — М.: Транспорт, 1986. — 176 с.
42. Амбарцумян В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В.В.Амбарцумян, В.Б. Носов. — М.: Научтехлитиздат, 1999. — 234 с.
43. Величковский В.Т. Здоровье человека и окружающая среда / В.Т. Величковский. — М.: Новая школа, 1997. — 235 с.
44. Голубев И.Р. Окружающая среда и транспорт / И.Р. Голубев, Ю.В. Новиков. — М.: Транспорт, 1987. — 207 с.
45. Евгеньев И.Е. Автомобильные дороги и окружающая среда / И.Е. Евгеньев, Б.Р. Каримов. — М.: Транспорт, 1997. — 257 с.
46. Игнатович Н.И. Чем опасен транспорт для людей, животных и растений / Н.И. Игнатович, Н.Г. Рыбатовский. — М.: РЭФИА, 1996. — 331 с.
47. Казанцева Л.К., Современная экологическая ситуация в России / Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева. — ЭКО. — 2005 —№9 — с. 30 — 45.
48. Колясников В.А. Градостроительная экология Урала: в 3 ч. / В.А. Колясников. — Екатеринбург: Архитектон, 1999. — 532 с.
49. Коробкин В.И. Экология / В.И. Коробкин. — М.: 2006. — 465 с.

50. Забишний Я.О. Екологічна безпека міських транспортних мереж / Я.О. Забишний // Збірник матеріалів VI Всеукраїнської наук.-практ. конф. аспірантів, курсантів, студентів та ад'юнктів, м. Львів, 5-7 травня 2016р., анотац. допов. – Л.: ЛДУБЖД, 2015р. – С. 40-42.
51. Семчук Я.М. Дослідження впливу відхідних газів автотранспорту на стан атмосферного повітря м. Івано-Франківська / Я.М. Семчук, Я.О. Забишний // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник матеріалів міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 2015р., анотац. допов. – Х.: НУЦЗУ, 2015р. – С. 140-141.
52. Забишний Я.О. Аналіз автотранспортного забруднення довкілля та його вплив на соціальну складову / Я.О. Забишний, Я.М. Семчук // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку», м. Івано-Франківськ, 10-11 травня 2016р., анотац. допов. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016р. – С. 254.
53. Забишний Я.О. Методи досліджень руху автотранспорту в межах урбоекосистем / Я.О. Забишний, Я.М. Семчук // Збірник матеріалів IV Міжнародного конгресу захисту навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування, м. Львів, 21-23 вересня 2016р. – Л.: Національний університет «Львівська політехніка», 2015р. – С. 27.
54. Забишний Я.О. Про вплив транспортних потоків на довкілля / О.Я. Забишний, Я.М. Семчук, Б.В. Долішній, В.М. Мельник // III Міжнар. наук.-практ. конф. «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика», м. Херсон, 13-15 вересня 2016р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, - 2016р. – С. 210-212.
55. Семчук Я.М. Вплив автомобільного транспорту на довкілля міських агломерацій / Я.М. Семчук, Я.О. Забишний // Збірник тез доповідей XIV Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми екологічної безпеки», м. Кременчук, 12-14 жовтня 2016р. – Кременчук: Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, - 2016р. – С. 57-58.

56. Абдулов Р.Ж. Экологический аспект управления автотранспортом в крупном городе (на примере г. Саратова). / Модернизация экономики и общества: сборник науч.-ислед. работы студентов. – СПб.: Наука, 2011. – С. 113-114.
57. Аргучинцева А. В. Оценка загрязнения воздушной среды городов автотранспортом / А.В. Аргучинцева, В.К. Аргучинцев, О.В. Лазарь. – М.: 2008 г.
58. Безуглая Э.Ю. Воздух городов и его изменения / Э.Ю. Безуглая, И.В. Смирнова. – СПб.: Астерион, 2008. – 321 с.
59. Буторина М.В. Инженерная экология и экологический менеджмент / М.В. Буторина, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов. – М.: Транспорт, 2006. – 269 с.
60. Жанабекова Е.И. Автомобилизация как фактор ухудшения качества среды обитания человека (на примере г. Саратова) // Материалы III Международной научно-практической конференции «Человек и общество: проблемы взаимодействия». – Саратов, 2010. – с. 21-29.
61. Сухарева М.М. Влияние автотранспорта на городскую среду крупных городов. Труды научно-практического семинара VII Международного экологического форума 13-15 марта 2007 г., Санкт-Петербург.
62. Ахметов Л. А. Автомобильный транспорт и охрана окружающей среды / Л. А. Ахметов, Е. В. Корнев, Т. З. Ситшаев. – Ташкент: Мехнат, 1990. – 328 с.
63. Бобровников Н.А. Защита окружающей среды от пыли на транспорте / Н.А. Бобровников. – М.: Транспорт, 1984. – 141 с.
64. Голубев И.Р. Окружающая среда и транспорт / И. Р. Голубев, Ю. В. Новиков. – М.: Транспорт, 1987. – 231 с.
65. Г. Гухман. Воздействие транспортного комплекса на окружающую среду / Энергия: экономика, техника, экология. – М.: Наука, 1999. – с. 42 – 45.
66. Евгеньев И.Е. Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог / И. Е. Евгеньев, В. В. Савин. – М.: Транспорт, 1989. – 237с.
67. Защита окружающей среды при транспортных процессах / Под ред. В. Г. Ененкова. – М.: Транспорт, 1984. – 289 с.
68. Игнатович Н.И. Чем опасен транспорт для людей, животных и растений / Н. И. Игнатович, Н. Г. Рыбальский. – М.: РЭФИА, 1996. – 238 с.

69. Косой Ю.М. Городской транспорт в зеркале экологии / Ю.М. Косой. – М.: Наука, 2001. – с. 64 – 68.
70. Лобачёва Г.К. Рынок вторичных ресурсов / Г.К. Лобачёва. – Волгоград: ВолГУ, 1998. – 216 с.
71. Лобачёва Г.К. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки / Г. К. Лобачёва, В. Ф. Желтобрюхов. – Волгоград: ВолГУ, Волг. Отд – ие экол. Академии, 1999. – 237 с.
72. Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. - 184с.
73. Внукова Н. В. Вплив природно-кліматичних умов на екобезпеку транспортного комплексу / Н. В. Внукова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2011. – № 34. – С.3-6.
74. Внукова Н. В. Вплив технічного стану двигунів внутрішнього згорання на паливну економічність і екологічну безпеку / Н. В. Внукова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2011. – № 53. – С. 27-34.
75. Внукова Н. В. Методика ексергетичного аналізу технологічних процесів забезпечення автоперевезень при використанні різних видів палива / Н. В. Внукова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2011. – № 54. – С. 60-66.
76. Внукова Н. В. Використання водню як палива для двигунів внутрішнього згорання і ефективність його застосування / Н. В. Внукова, О. М. Ковальова, Г. М. Желновач // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2011. – № 33. – С. 24-30.
77. Лиханов В. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле / В. А. Лиханов , А. Н. Чувашев , А. А. Глухов , А. А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. – с. 10–13.

78. Гутаревич Ю.Ф. Шляхи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів / Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, А.О. Копач // Вісник східноукраїнського НУ ім. Даля. – 2004. – № 7 (77), ч. 1 – с. 11–15.
79. Павлишин Д. Вплив транспорту на екологію / Д. Павлишин // Український Екологічний Форум. – 11 грудня 2012 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ekovita.org.ua/viewtopic.php?f=4&t=258>.
80. Голубев И.Р. Окружающая среда и транспорт [Текст] / И.Р. Голубев, Ю.В. Новиков. – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.
81. Каніло П.М. Автомобіль та навколишнє середовище [Текст] / П.М. Каніло, І.С. Бей, О.І. Ровенський. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с.
82. Русіло П.О. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу / П.О. Русіло, В.В. Костюк, В.М. Афонін // Науковий вісник НЛТУ України. – 2008. – Вип.18.3. – С. 85-89/
83. Бригадир І.В. Правове регулювання забезпечення екологічної безпеки в галузі автомобільного транспорту: автореф. дис. канд. юрид. наук: 12.00.06 / Національна юридична академія України ім. Ярослава Мудрого. – Х., 2008. – 20 с.
84. Устименко В. С. Поліпшення екологічних показників автомобілів та розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Державне підприємство "Державний автотранспортний науково - дослідний і проектний ін-т". – К., 2006. – 178с
85. Douaud A., Girard C. Which are the engine and fuel technologies for the sustainable development of road transport? // WEC Journal. – 2007. –July. – P. 10–21.
86. Ямамото Акихиро. Экологические мероприятия и переработка отходов на транспорте // Yuso tenbo Quart. J. Distrib. and Transp. – 2005. – № 244. – С.21–28.
87. Писарев В.Д. Экологическая безопасность как компонент национальной безопасности США // США: экономика, политика и идеология. - 1997. - № 7. - С. 5.
88. 2. Гутаревич Ю.Ф., Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Корпач. Екологія та автомобільний транспорт /Навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене. – К.: Арістей, 2008. – 296 с.

89. Рудзінський В.В. Новітні системи нейтралізації шкідливих викидів дизелів вантажних автомобілів / Автошляховик України. – 2008. – № 1. – С. 8-9.
90. Слюсаренко О.І. Каталітичний нейтралізатор – як спосіб розв'язання екологічної проблеми автомобільних викидів / Наук.-техн. зб. – Львів: ЛВІ. – 2005, вип. 4. – С. 54-56.
91. Марцкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Пер. с чешск. В.Б. Иванова.– М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
92. Лиханов В. А. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции / В. А. Лиханов , О. П. Лопатин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. № 4 (40). – С. 21–25.
93. Лиханов В. А. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 / В. А. Лиханов , О. П. Лопатин // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. № 6. – С. 7–9.
94. Лиханов В. А. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии / В. А. Лиханов , О. П. Лопатин // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. № 2. – С. 6–7.
95. Лиханов В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии / Лиханов В. А., Лопатин О. П. // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник. – 2013. № 1 (1). – С. 29–32.
96. Денисов В.Н. Проблемы экологизации автомобильного транспорта / В.Н. Денисов, В.А. Рогалев. – СПб. : Изд-во ЭКО, 2004. – 194 с.
97. Слюсаренко О.І. Каталітичний нейтралізатор – як спосіб розв'язання екологічної проблеми автомобільних викидів / О.І. Слюсаренко // Наук.-техн. зб. – Львів: ЛВІ. – 2005, вип. 4. – С. 54-56.
98. Литвин Л.Л., Калінін О.М., Климчук В.Т. Обґрунтування необхідності ремонту автомобільної техніки / Л.Л. Литвин, О.М. Калінін, В.Т. Климчук // Наук.-техн. зб. – Львів: ЛВІ. – 2005, вип. 4. – С. 40-42.

99. Лиханов В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / В. А. Лиханов. – Киров, 1999. – 357 с.
100. Лиханов В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / В. А. Лиханов. – Санкт-Петербург, 1999. – 32 с.
101. Лиханов В. А. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле / В. А. Лиханов, А. С. Полевщиков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. № 5 (41). – С. 62–64.
102. Лиханов В. А. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле / В. А. Лиханов, А. С. Полевщиков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. № 1 (31). – С. 62–65.
103. Скрыбин М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М. Л. Скрыбин. – Киров, 2009. – 202 с.
104. Пальгунов П.П. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, М. В. Сумароков. – М.: Стройиздат, 1990. – 289 с.
105. Пирогов Н.Л. Вторичные ресурсы: эффективность, опыт, перспективы / Н. Л. Пирогов, С. П. Сушон. – М.: Экономика, 1987. – 267 с.
106. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и природопользование в России / В. Ф. Протасов, А. В. Молчанов. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 327 с.
107. Амбарцумян В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В.В. Амбарцумян, В.Б. Носов. – М.: Научтехлитиздат, 1999. – 236 с.
108. Дьякова А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А.Б. Дьякова. – М.: Транспорт. – 1990. – 287 с.
109. Евгеньев И.Е. Автомобильные дороги и окружающая среда / И.Е. Евгеньев, Б.Р. Каримов. – М.: Транспорт, 1997. – 231 с.

110. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и природопользование в России / В.Ф. Протасов, А.В. Молчанов. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 257 с.
111. Микула О.Я. Кадастр природних ресурсів: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / Микула О.Я., Ступень М.Г., Пересол як В.Ю. – Львів: Новий світ, 2006. – 192 с.
112. Новоторов О.С. Деякі напрямки удосконалення земельно-кадастрової системи / О.С. Новоторов // Теорія і методи оцінювання оптимізації використання та відтворення земельних ресурсів: матеріали міжнар. наук. конференції. – К., 11–14 лист. 2002 р. – К., 2002. – С. 77–83.
113. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. ДБН. 2.3-4: 2007. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 87 с.
114. Транспорт Івано-Франківської області за 2013 рік: Стат. збірник / Державний комітет статистики України. Головне управління статистики у Івано-Франківській області. – Івано-Франківськ: Головне управління статистики у Івано-Франківській області, 2013. – 87 с.
115. Луканин В.Н. Снижение шума автомобиля / В.Н. Луканин, В.Н. Гудцов, Н.Ф. Бочаров – М.: Машиностроение, 2011. - 289 с.
116. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных дорог / А.В. Леванчук // Науковедение: интернет-журнал. – 2014. № 1 (20). – С. 68-74.
117. Горшкова И.А. Анализ загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспортных средств в условиях сложившейся градостроительной ситуации в центральной части Санкт-Петербурга / И.А. Горшкова, О.Ю. Макарова // Науковедение: интернет-журнал. – 2014. № 4 (23). – С. 79-85.
118. Маар А.Е. Влияние интенсивности движения транспорта на загрязнение почв ОАО «Ударник полей» / А.Е. Маар // Наука и студенты: новые идеи и решения: сб. материалов X внутривузовской научно-практической студенческой конференции (г. Кемерово, 12 апр. 2011г.); Кемеровский ГСХИ. – Кемерово: Издание Кемеровского ИИО, 2011. – С.25.

119. Трошина Е. Н. Загрязнение почвы тяжелыми металлами на территории крупного промышленного центра / Е. Н. Трошина // Медицина труда и промышленная экология. – 2008. – № 12. С. 43-44.
120. Королёв В.А. Очистка грунтов от загрязнений / В.А. Королёв. – М.: МАИК Наука. – 2001. – 365с.
121. Маар А.Е. Влияние интенсивности движения транспорта на загрязнение почв ОАО «Ударник полей» / А.Е. Маар // Наука и студенты: новые идеи и решения: сб. материалов X внутривузовской научно-практической студенческой конференции (г. Кемерово, 12 апр. 2011г.); Кемеровский ГСХИ. Кемерово: Издание Кемеровского ИИО, 2011. – С.25.
122. Трошина Е. Н. Загрязнение почвы тяжелыми металлами на территории крупного промышленного центра / Е. Н. Трошина // Медицина труда и промышленная экология. – 2008. № 12. – С. 43-44.
123. Акимова Т.А. Экология. Природа – Человек – Техника: Учебник для вузов / Т.А. Акимова, А.П. Кузьмин, В.В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 343с.
124. Кривошеин Д.А. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин, Л.А.Муравей, Н.Н. Роева и др.; Под ред. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.
125. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв / Под ред. Д.С. Орлова и В.Д. Васильевской. – М.: МГУ, 1994. – С. 105-125.
126. Алексеев А. Экологический триптих / А. Алексеев, М. Козлов // За рулем. – 1998. – №6. – с. 68-70.
127. Голованов Л. Дышать! Лучше поздно, чем никогда / Л. Голованов // Авторевю. – 1998. – №1. – с. 78-81.
128. Воробьев А. Освежить дыхание / А. Воробьев // За рулем. – 2000. – №12. – с. 89-82.
129. Воробьев А. Задержать и уничтожить / А. Воробьев // За рулем. – 2003. – № 12. – с. 72-76.
130. Гоголев Ю. Будут сверхчистые Mercedes / Ю. Гоголев // Авто центр. – 2004. – №6. – с. 83-85.

131. Автомобильный справочник Bosch: пер. с англ. – М.: За рулем. – 2004. – 992 с. ISBN 5-85907-327-5.
132. Мержиєвська В. “Аналіз особливостей робочих процесів каталітичних нейтралізаторів та основних принципів їх моделювання”/ В. Мержиєвська // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – Харьков, ХНАДУ. – вып. 16. – 2005. – с. 316-318.
133. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей (Exhaust emission of automotiv and tractor engines) / А.Р. Кульчицкий // Учебное пособие (изд. 2, исправленное и дополненное). – М.: ООО "Академический проект". – 2004. – 400 с.
134. Алексеев А. Проблема «зеленого» автомобиля – взгляд из Европы / А. Алексеев, М. Козлов // За рулем. – 1998. – №6. – с. 52-54.
135. Pontikakis G. Mathematical modelling of catalytic exhaust systems for EURO-3 and EURO-4 emissions standards / G. Pontikakis, A. Stamatelos. – Proc. Instn. Mech. Engrs. – Part D. – 2001. – p. 1005-1015.
136. Корницкий В. Катализаторы с обратной связью / В. Корницкий // Автоцентр. – 2002. – №49. – с. 65-68.
137. Воробьев-Обухов А. Датчик кислорода на дизеле / А. Воробьев-Обухов // За рулем. – 2002. – №9. – с. 94-97.
138. Макаров Ю. Нейтралізатор или наше будущее? / Ю. Макаров // За рулем. – 1997. – №7. – с. 34-36.
139. Гзовский М. Твердый курс ЕВРО / М.Гзовский // За рулем. – 2002. – №5. – с. 54-58.
140. Мишин С. Дышите глубже – мы в Европе / С. Мишин // За рулем. – 2000. – №11. – с. 32-34.
141. Сердюк О. Экология и автомобилестроение / О. Сердюк // Автостандарт. – 2004. – №4. – с. 37-41.
142. Казаков Н. Экологическая безопасность транспорта / Н. Казаков, И. Масленникова // Автобизнесмаркет. – 2004. – №14. – с. 67-70.
143. Забишний Я. О. Про дослідження параметрів транспортних потоків та їх вплив на довкілля / Я. О. Забишний, Я. М. Семчук, Б. В. Долішній, В. М. Мельник

// Науково-технічний журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування». ІФНТУНГ. - 2016 - №1(13)-с. 146- 152.

144. Zabyshnyi Y.O. Influence of exhaust for air condition in cities / Y.O. Zabyshnyi, Y.M. Semchuk, V.M. Melnyk, B.V. Dolishniy // The scientific heritage. – Hungary, VOL 1, No 3 (3) (2016). – p. 28-34.

145. Казаков Н. Экологическая безопасность транспорта / Н. Казаков, И. Масленникова // Автобизнесмаркет. – 2004. – №14. – с. 56-58.

146. Снижение токсичности выбросов при эксплуатации автомобиля / Ю.Ф. Гутаревич, О.Д. Климуш, Н.Н. Худолий, В.И. Гдыря – К.: Техніка, 1981. – 88 с.

147. Хомяк Я.В. Автомобильные дороги и окружающая среда/ Я.В. Хомяк, В.Ф. Скорченко – К.: Изд-во Киев. ун-та, ИО «Вища школа», 1983. – 160 с.

148. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. доктора. техн. наук / Ю.Ф. Гутаревич. – К.: 1986. – 538 с.

149. Забишний Я. О. Про викиди шкідливих компонентів автомобільними двигунами внутрішнього згорання на дослідних ділянках м. Івано-Франківська в зимовий період / Я. О. Забишний, Я.М.Семчук, Б.В. Долішний, В.М.Мельник // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Нафтогазова енергетика» - 2015 - №2(24) - с.82-88.

150. Данилевич Я.Б., Денисов В.Я. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у мегаполісах // Доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Автотранспорт: від екологічної політики до щоденної практики». - К.: ЦУЛ, 2005. - 200 с.

151. Экологолизация автомобильного транспорта: передовой опыт стран Европейского Союза и России // об. тр. II Всерос. конф. / под ред. д.т.н. В.Н. Денисова. - С.Пб: МАНЭБ, 2004.-160 с.

152. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология./ В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.

153. Вдовиченко В.О. Ефективність функціонування міської пасажирської транспортної системи: Автореф. Дис...канд.техн.наук: 05.22.01 / В.О. Вдовиченко; Нац. трансп. ун-т. – К., 2004. – 20 с.
154. Гульчак О.Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.22.01/ О.Д. Гульчак; Нац. транспорт. ун-т. – К., 2005. – 19 с.
155. Гнедіна К.В. Управління якістю послуг міського електричного транспорту/К.В. Гнедіна // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. - № 31. – 2007. – С.197-204.
156. Мочерний, С. В. Основи економічних знань [Текст] : підручник / С.В. Мочерний. – 2-ге вид., уточнене. – К. : Академія, 2002. – 310 с.
157. Колісник Г.М. Соціально-економічна ефективність підтримки малого підприємництва в Україні та світі/ Г.М. Колісник // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. – 2004. – вип. 14.4. – С. 202-211.
158. Блонська В.І. Соціально-економічна ефективність діяльності торгового підприємства, резерви і шляхи її підвищення / В.І. Блонська // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. – 2006. – Вип. 16.7. – С. 169-172.
159. Растворцева С.Н. Управление социально-экономической эффективностью как перспективное направление в теории менеджмента /С.Н. Растворцева// Економічний вісник Донбасу. – 2008. - Вип. 2. – С. 114-121.
160. Экономический словарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mirslovarei.com/content_eco/jekonomicheskaja-jeffektivnost-54603.html.
161. Забишний Я.О. Техногенна та екологічна небезпека природних і промислових об'єктів Карпатського регіону / Я.О. Забишний // Всеукраїнській наук.-практ. конф. аспірантів, курсантів та студентів, м. Львів, 12-15 листопада 2015р., анотац. допов. – Л.: ЛДУБЖД, 2015р. – С. 172.
162. В.Ф. Романенко. Обоснование критериев и показателей экологической оценки вакцин и микробиологических препаратов против болезней животных /

В.Ф. Романенко, В.С. Лень // Ветеринарна медицина України. – 1997. – № 8. – С.22-23.

163. Забишний Я. О. Термін поновлення поверхневої обробки дорожнього покриття на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами / Я. О. Забишний // Автошляховик України - 1998. - №2 - с.40-42.

164. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения.— М.: Транспорт, 1982.— 288 с.

165. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя.— М.: Транспорт, 1980.— 311 с.

166. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика.— М.: Наука, 1979.— 496 с.

167. Забишний Я. О. Підвищення безпеки руху транспорту на магістральних автомобільних дорогах в містах / Я. О. Забишний // Науково-технічний вісник «Безпека дорожнього руху України» - 1998 - №1 - с.22-24.

168. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин.— М.: Наука, 1985.— 640 с.

169. Чистяков В. П. Курс теории вероятностей.— М.: Наука, 1987.— 240 с.

170. Картавов С. А. Математические термины: Справочно-библиографический словарь. К.: Выща школа, 1988.— 295 с.

171. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1969.— 576 с.

172. Забишний Я. О. Організація дорожнього руху на розв'язках в одному рівні з віднесеними лівими поворотами / Я. О. Забишний // Науково-технічний вісник «Безпека дорожнього руху України» - 1999- №1(2) -с.56-62.

173. Забишний Я. О. Дослідження часових інтервалів здійснення прямого та віднесеного лівого поворотів на розв'язках в одному рівні / Я. О. Забишний // Науково-технічний вісник «Безпека дорожнього руху України» - 2001 - №2(10) - с.44-55.

174. Семчук Я.М. Дослідження методів оцінки і прогнозування впливу автотранспорту на довкілля / Я.М. Семчук, Я.О. Забишний, Б.В. Долішній, В.М.

Мельник // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. ІФНТУНГ. – 2016. – №2 (13). – с.92-100.

175. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса // ДАН СССР. 1941. Т. 30, №4. – С299-303.

176. Taylor C.I. – Proc. Lond. Math., 1922, Ser. 2, v. 20, p. 13-18.

177. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.:Гидрометеиздат, 1975. – 439 с.

178. Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluents (sec. ed.) New York, 180 p. The American Society of Mechanical Engineers, 1973, №4.

179. Сафонов В.С. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности / В.С. Сафонов, Г.Э. Одишария, А.А. Швыряевю – М.: Москва, 1996. – 208 с.

180. Белов П.С. "Временная методика расчета газовых выбросов наземных источников на объектах газовой промышленности" / П.С. Белов. – М.:, РАО "ГАЗПРОМ", 1987. – 42 с.

181. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86 –Л: Гидрометеиздат.-1987- 92 с.

ДОДАТОК А

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Директор Департаменту
комунального господарства
Транспорту та зв'язку виконавчого
комітету Івано-Франківської міської
ради



М.В. Смушак

«27» січня 2014р.

**АКТ ПРОМИСЛОВОЇ АПРОБАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДОСЛІДЖЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
АВТОТРАНСПОРТУ МІСТ ШЛЯХОМ УПОРЯДКУВАННЯ
ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

Даний акт засвідчує, що в період з 01.01.2011р. по 01.01.2014р. в м. Івано-Франківськ проводилися дослідження впливу транспортних потоків на концентрацію шкідливих компонентів в повітрі поблизу найбільш завантажених перехресть.

В процесі досліджень виявлено високу концентрацію шкідливих компонентів, що викидаються автомобільним транспортом, так наприклад на перехресті вулиць Галицька-Пасічна-Тролейбусна у період з 2011р. по 2012р. зафіксовано середні значення:

| Назва речовини | CO | NO _x | C _n H _m |
|------------------------------|------|-----------------|-------------------------------|
| Кількість, мг/м ³ | 1,32 | 0,03 | 0,024 |


З метою зниження викидів шкідливих компонентів транспортних потоків на даному перехресті здійснено впорядкування дорожнього руху шляхом:


- 1) застосування віднесеного правого повороту;
- 2) застосування додаткових смуг руху;
- 3) встановлення додаткових секцій світлофору.

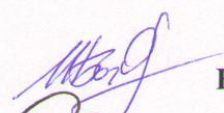
За результатами впровадження даних заходів було досягнуто зниження рівня забруднення повітря поблизу зазначеного перехрестя у період з 2013р. по 2014р., а саме:

| Назва речовини | СО | NO _x | C _n H _m |
|----------------|------|-----------------|-------------------------------|
| Кількість | 1,05 | 0,019 | 0,02 |

Також в районі перехрестя спостерігалось зниження рівня шуму та вібрації в результаті зменшення кількості зупинок автомобілів на перехресті та рушань з місця.

Головний спеціаліст відділу організації підготовки, перепідготовки водіїв транспортних засобів, водіїв та суб'єктів, задіяних у дорожньому перевезенні небезпечних вантажів Головного сервісного центру МВС України,  Забишний Я.О.

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності ІФНТУНГ  Семчук Я.М.

Начальник відділу ОДР та нагляду за станом доріг УДАІ УМВС в Івано-Франківській області  Бабій М.Б.

Начальник УКБ  Ковальчук В.Г.



ДОДАТОК Б

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Директор Департаменту житлової,
комунальної політики та благоустрою
Івано-Франківської міської ради



М.В. Смушак

«08» лютого 2016р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Ми, що нижче підписалися підтверджуємо, що результати дисертаційної роботи Забишного Я.О. були використані при розробці методики оптимізації внутрішніх міських автобусних маршрутів у м. Івано-Франківськ.

Начальник відділу УПД ГУНП
в Івано-Франківській області

Бабій М.Б.

Директор ТОВ «Профгруп»

Чумаченко С.М.