

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

На правах рукопису

МАЛИШЕВА Вікторія Валеріївна

УДК 625.74; 504.3.054

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ІНГРЕДІЄНТНО-
ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА ОБ-
ГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ**

Спеціальність 05.22.11 – Автомобільні шляхи та аеродроми

Дисертація на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Хворост Микола Васильович
доктор технічних наук,
професор

Харків – 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ТА ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ	9
1.1 Аналіз та оцінка впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище.....	9
1.1.1 Інгредиентне забруднення повітряного середовища.....	10
1.1.2 Параметричне забруднення зони впливу автомобільної дороги.....	13
1.2 Нормування рівнів інгредиентно-параметричного забруднення	19
1.2.1 Нормативні рівні інгредиентного забруднення	19
1.2.2 Нормування акустичного забруднення.....	21
1.3 Аналіз факторів, що впливають на рівні інгредиентно-параметричного забруднення навколишнього середовища.....	24
1.3.1 Фактори, що впливають на ступінь інгредиентного забруднення придорожнього простору населених пунктів.....	24
1.3.2 Фактори, що впливають на ступінь акустичного забруднення транспортними потоками навколишнього середовища	26
1.4 Аналіз існуючих математичних моделей з визначення рівнів інгредиентно-параметричного забруднення автомобільної дороги	28
1.4.1 Оцінка існуючих математичних моделей з визначення інгредиентного забруднення	28
1.4.2 Аналіз прогностичних моделей з визначення акустичного забруднення придорожнього простору.....	30
1.5 Заходи щодо зниження рівнів інгредиентно-параметричного забруднення навколишнього середовища.....	34
1.5.1 Заходи щодо зниження інгредиентного забруднення придорожнього простору населених пунктів.....	34
1.5.2 Заходи щодо зниження шкідливого впливу транспортного шуму..	36

Висновки	38
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ	41
2.1 Моделювання складу транспортного потоку для дослідження інгредієнтного забруднення автомобільної дороги	41
2.2 Удосконалення математичної моделі з визначення інгредієнтного забруднення в зоні впливу автомобільної дороги	43
2.3 Удосконалення методу оцінки параметричного забруднення автомобільної дороги з урахуванням швидкості руху автомобілів	47
2.4 Моделювання інгредієнтного забруднення придорожного простору населених пунктів.....	56
Висновки	64
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНГРЕДІЄНТНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ.....	67
3.1 Експериментальні дослідження рівнів інгредієнтного забруднення придорожного простору населених пунктів	67
3.2 Організація і проведення експериментальних досліджень акустичного забруднення.....	69
3.3 Експериментальні дослідження рівнів шуму окремих груп автотранспортних засобів.....	72
Висновки	81
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНЖЕНЕРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЗАХИСТУ СЕЛЬБИЩНОЇ ТЕРИТОРІЇ ВІД ІНГРЕДІЄНТНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	83
4.1 Аналіз методів розрахунку захисних властивостей захисних екранів	83
4.2 Визначення геометричної форми та параметрів захисних екранів.....	88
4.3 Розробка конструкції захисних інженерних конструкцій.....	100
4.3.1 Вимоги, що висуваються до захисних інженерних споруд	100
4.3.2 Загальний вигляд запропонованої захисної інженерної конструкції	101

4.3.3 Обґрунтування вибору наповнювача звукопоглинальних модулів	103
4.4 Оцінка ефективності захисного екрану	106
4.5 Оцінка небезпеки виникнення аварійної ситуації на ділянках автомобільних доріг, що обладнані захисними інженерними спорудами	109
4.6 Вимоги до розташування захисних інженерних споруд на ділянках автомобільної дороги	115
4.7 Заходи щодо покращення сприйняття захисних екранів водіями	119
Висновки	123
Перелік посилань.....	125
Додаток А.....	137
Додаток Б.....	139
Додаток В	145

ВСТУП

Сучасні умови життєдіяльності людини в мегаполісі характеризуються збільшенням впливу шкідливих факторів зовнішнього середовища, які утворюються в зоні впливу автомобільної дороги. Це негативно позначається на стані здоров'я мешканців, підвищує загальний рівень захворюваності та погіршує якість життя в цілому.

Актуальність теми. Транспорт, який рухається вулицями сучасних мегаполісів, відіграє важливу роль у житті міста завдяки здійсненню пасажирських і вантажних перевезень та обумовлює розвиток інших галузей економіки регіону. В теперішній час спостерігається стійка тенденція до збільшення кількості транспортних засобів, які рухаються по вулицях м. Харкова. Збільшення рівня автомобілізації викликає підвищення шкідливого впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Сумарне екологічне забруднення, яке здійснюється колісними транспортними засобами, в загальному вигляді формується інгредієнтним забрудненням повітря, що утворюється з викидів відпрацьованих газів автотранспортних засобів, а також параметричним (віброакустичним) забрудненням, що полягає в акустичному випромінюванні на приміагістральну територію.

Питанням впливу автомобільних доріг на навколишнє середовище присвячені роботи В.М. Луканіна, Ю.Ф. Гутаревича, Є.Б. Угненко, П.І. Поспелова, А.О. Білятинського, В.В. Філіпова, В.Ф. Бабкова, В.Ф. Бабія, Л.Д. Пляцука, Є.П. Самойлюка та інших видатних вчених.

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю зниження шкідливого впливу автомобільних доріг на приміагістральну територію, з метою зниження екологічного навантаження на зону житлової забудови, захисту здоров'я її мешканців та підвищення рівня життя в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Робота виконана відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 р., затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р; госпрозрахункової науково-дослідної роботи "Забезпечення безпеки експлуатації виробничого обладнання та технологічних процесів підприємств житлово-комунального госпо-

дарства, будівництва і транспорту” (номер державної реєстрації № 0108U004538, 2012-2015 рр.).

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення методу визначення параметричного забруднення автомобільних доріг з обґрунтуванням геометричних параметрів інженерних конструкцій для захисту сельбищних територій.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз існуючих математичних моделей з визначення рівнів інгредієнтно-параметричного забруднення придорожнього простору населених пунктів;
2. Провести теоретичні дослідження екологічних показників функціонування автомобільної дороги з моделюванням складу транспортного потоку;
3. Удосконалити математичні моделі, що характеризують залежність інгредієнтного і параметричного забруднення від параметрів транспортного потоку та навколишнього середовища;
4. Провести експериментальні дослідження та встановити залежності між параметрами автотранспортного потоку і зростанням екологічного навантаження автомобільної дороги на навколишнє середовище;
5. Обґрунтувати параметри інженерних конструкцій для захисту сельбищних територій від інгредієнтного та параметричного забруднення;
6. Обґрунтувати вимоги до захисних споруд з урахуванням психофізіології водіїв, екологічних та естетичних критеріїв.

Об’єкт дослідження – система «Автомобільна дорога – транспортний потік – навколишнє середовище».

Предмет дослідження – екологічні показники навколишнього природного середовища.

Методи дослідження. Оцінка засобів підвищення екологічної безпеки проводилась з використанням методів математичного моделювання, теорії ймовірності по окремих, групових та інтегральних критеріях.

Побудова математичних моделей системи виконувалась з урахуванням вимог універсальності шляхом опису окремих підсистем та елементів за допомогою теоретичних та емпіричних залежностей. Перевірка адекватності математичних моделей

виконувалась шляхом порівняння розрахункових результатів з експериментальними даними. Експериментальним шляхом визначено рівні шуму транспортних потоків, які після відповідної статистичної обробки стали основою удосконалення математичної моделі, що описує залежність рівнів шуму на приміагістральній території від інтенсивності руху автотранспортних засобів в потоці та його якісного складу.

Наукова новизна отриманих результатів:

- удосконалено математичну модель з визначення інгредієнтно-параметричного забруднення навколишнього середовища;
- розроблено прогностичні залежності щодо можливих рівнів шуму в зоні впливу автомобільної дороги залежно від параметрів транспортних потоків;
- вперше запропоновано комбіновану конструкцію захисного екрану, проведено оцінку рівнів небезпеки ділянки автомобільної дороги, обладнаної ним та обґрунтовано вимоги до конструкційних та естетичних характеристик захисних споруд.

Обґрунтованість результатів досліджень підтверджується шляхом порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- обґрунтуванні параметрів інженерних конструкцій для захисту сельбищ цих територій від інгредієнтного та параметричного забруднення
- обґрунтуванні вимог до захисних конструкцій з урахуванням психофізіології водіїв та естетичних критеріїв.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності в навколишньому і виробничому середовищах» (м. Харків, 2011 р.); IV міжрегіональної науково-практичної конференції с міжнародним участим «Безопасность жизнедеятельности: наука, образование, практика» (г. Южно-Сахалинск, Россия, 2014 г.); DAS Internationale Symposium „Ökologische, Technologische und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung“, EURO-ECO Hannover 2013 (м. Ганновер, Німеччина, 2013 р.); XXXVII науково-технічної конференції преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковского национального университета городского хозяйства имени А.Н. Бекетова (2014 р.)

Публікації. Результати досліджень, що викладені у дисертаційній роботі, опубліковані в 8 наукових статтях, опублікованих у фахових збірниках.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літературних джерел, що були використані у роботі, і додатку. Загальний обсяг дисертації 154 сторінки. Крім основного тексту, що викладений на 124 сторінках, дисертація містить 24 рисунки, 29 таблиць, список використаних джерел із 117 найменувань і додатку на 18 сторінках.

РОЗДІЛ 1 ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ТА ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

1.1 Аналіз та оцінка впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище

Вирішення проблеми підвищення рівня безпеки автомобільних доріг для навколишнього середовища великих промислових міст є одним з основних завдань для сучасних мегаполісів. Постійне збільшення кількості транспортних засобів призводить до зростання екологічної небезпеки для мешканців, погіршує якість життя в сельбищній зоні, прилеглої до автомобільних доріг, та несприятливо впливає на стан здоров'я людей.

Транспорт, який рухається вулицями Харкова, відіграє важливу роль у житті міста завдяки здійсненню пасажирських і вантажних перевезень та обумовлює розвиток інших галузей економіки. На теперішній час в м. Харкові функціонують наступні види транспорту, які рухаються шляхами загального користування:

- 1) пасажирський наземний транспорт загального користування (автобус, трамвай, тролейбус);
- 2) автомобільний вантажний транспорт;
- 3) транспорт власного користування (автомобілі, мотоцикли, мопеди);
- 4) транспорт спеціального та спеціалізованого призначення.

Окремо можна виділити метрополітен, залізничний та авіаційний транспорт.

Сумарне забруднення навколишнього середовища, яке здійснюється колісними транспортними засобами, в загальному вигляді поділяється на два види:

- інгредієнтне забруднення повітря небезпечними речовинами, які утворюються внаслідок руху автотransпортних засобів;
- параметричне (зокрема, акустичне) забруднення, що полягає у випромінюванні шкідливих акустичних коливань в звуковому та інфразвуковому діапазоні частот, а також вібрації.

Кожен з видів транспорту здійснює індивідуальне навантаження на навколишнє середовище, яке формується з вищезазначених компонент. Величина навантаження залежить від характеристик транспортного засобу та особливостей його руху автомобільними дорогами міста.

Порівняння значень викидів основних небезпечних речовин за видами транспорту показує, що найбільш шкідливим в плані інгредієнтної емісії є автомобільний транспорт [1]. Дослідження показали, що автомобільний транспорт в більшості великих міст України здійснює від 40 до 70 % загального атмосферного забруднення.

1.1.1 Інгредієнтне забруднення повітряного середовища. Для здійснення руху транспортних засобів залежно від конструктивних особливостей застосовується рідке чи газоподібне паливо. За рахунок того, що виробники палива для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей додають в нього домішки, присадки та інші додаткові компоненти, вихлопні гази містять значну кількість забруднюючих речовин та сполук, небезпечних для людей. Оскільки доведено, що серед основних шляхів надходження забруднюючих речовин до організму людини, потрапляння них крізь органи дихання є найбільш небезпечним, вирішенню питання зменшення цього несприятливого впливу потрібно приділяти значну увагу.

При згорянні палива в двигуні автомобіля в повітря виділяються наступні небезпечні речовини [1-5]:

- оксид вуглецю CO (здійснює токсичну дію, підвищує стомлюваність людини, викликає в неї сонливість та зменшення концентрації уваги, що є особливо небезпечно для водіїв; при значній концентрації та довготривалій дії спричиняє суттєвий несприятливий вплив, викликає запаморочення, втрату свідомості, утруднення дихання та інші важкі наслідки; відповідно до [6] максимально разова гранично допустима концентрація (ГДК) речовини становить 5 мг/м^3 , середньодобова ГДК становить 3 мг/м^3 , клас безпеки – 4);
- вуглеводні сполуки C_nH_m (у продуктах згоряння палива налічується більш ніж 150 видів, чинять переважно токсичну та канцерогенну дію на організм людини);

- оксиди азоту NO_x (подразнюють слизові оболонки та чинять токсичну дію на людину, клас небезпеки – 3);
- альдегіди (акролеїн, формальдегід та інші; акролеїн чинить подразнюючу та канцерогенну дію на організм людини, максимально разова ГДК становить $0,03 \text{ мг/м}^3$, середньодобова ГДК становить $0,03 \text{ мг/м}^3$, клас небезпеки – 2; формальдегід чинить канцерогенну дію на організм людини, максимально разова ГДК становить $0,035 \text{ мг/м}^3$, середньодобова ГДК становить $0,003 \text{ мг/м}^3$, клас небезпеки – 2);
- сажа (канцерогенна дія; максимально разова ГДК становить $0,15 \text{ мг/м}^3$, середньодобова ГДК становить $0,05 \text{ мг/м}^3$, клас небезпеки – 3);
- з'єднання свинцю (канцерогенна дія; максимально разова ГДК становить $0,001 \text{ мг/м}^3$, середньодобова ГДК становить $0,0003 \text{ мг/м}^3$, клас небезпеки – 1);
- з'єднання сірки (токсична та подразнююча дія на організм людини, клас небезпеки – 2);
- бенз(а)пірен (чинить канцерогенний та мутагенний вплив на людину, максимально разова ГДК не встановлюється, середньодобова ГДК становить $0,1 \text{ мкг}$ на 100 м^3 , клас небезпеки – 1).

Таким чином, проведений аналіз показав, що вплив забруднюючих речовин і сполук, які містяться у відпрацьованих газах автомобілів, є небезпечним для людей, може викликати суттєві зміни у функціональному стані організму та призвести до виникнення захворювань.

В дослідженнях стану атмосферного повітря поблизу магістральних вулиць (на прикладі м. Ужгород) зазначено [7], що перевищення ГДК спостерігалось за наступними речовинами та сполуками: формальдегід, диоксид азоту, бенз(а)пірен, причому за період проведення досліджень спостерігалось зростання ступеня перевищення. Дослідження стану захворюваності дітей показало, що вплив забруднюючих речовин призвів до зростання захворюваності органів дихання, а саме бронхіальної астми та алергічного риніту. Причому, оскільки у дитячому віці відсутній вплив професійних шкідливих виробничих факторів та шкідливих звичок, зареєстроване зростання захворюваності органів дихання в основному обумовлюється саме впливом інгредієнтного забруднення відпрацьованих газів.

Дослідження впливу канцерогенних речовин, які містяться у відпрацьованих газах, на кількість онкозахворювань на прикладі м. Дніпропетровськ [8] показали, що дія деяких канцерогенних речовин, наприклад – бенз(а)пірену, супроводжується латентним періодом тривалістю в сім років, тобто зростання концентрації цієї речовини в атмосфері міста призвело до збільшення випадків онкологічних захворювань органів дихання мешканців саме через цей період. Враховуючи те, що спостерігається тенденція до зростання концентрації цієї речовини у відпрацьованих газах, найближчим часом існує значна вірогідність збільшення захворюваності населення.

В роботі [9] проводилися дослідження стану повітряного середовища в житлових приміщеннях та приміщеннях іншого призначення, розташованих поблизу автомобільних доріг, причому паралельно проводилися дослідження атмосферного повітря ззовні будівлі. В результаті вивчення хімічних показників повітря ззовні та всередині приміщення встановлена чітка залежність вмісту канцерогенних речовин в повітрі всередині приміщень від стану зовнішнього повітря поблизу автомобільних доріг. За досліджуваним показником (бенз(а)піреном) повітря всередині приміщення та ззовні майже не відрізняються. Ця ситуація характерна для нижніх поверхів будівель.

В роботі [10] наведено результати досліджень глибини розповсюдження шкідливих речовин, зокрема канцерогенів бенз(а)пірену, нітродозодиметиламіну та нітрозодіетиламіну, в сельбищну зону різної щільності при сталій щільності автотранспортних потоків. При цьому встановлено, що перевищення ГДК досліджуваних речовин спостерігалось на відстані близько 100 м від автомобільної дороги (для бенз(а)пірену). Розсіювання інших речовин спостерігається на відстанях в межах 25-50 м. Наявність забудови по периметру кварталу сприяє накопиченню шкідливих речовин в зоні житлової забудови. Таким чином утворюється зона ризику інгаляційного впливу небезпечних канцерогенних речовин на мешканців.

Дослідження ступеня небезпеки зон підвищеної канцерогенності поблизу автомобільних доріг проведено в роботі [11] шляхом визначення рівнів канцерогенного індивідуального і популяційного ризику для мешканців будинків, розташованих поблизу автомобільних доріг. Для досліджень були обрані канцерогенні речовини

трьох класів: нітрозамінні та важкі метали, а також поліциклічні ароматичні вуглеводні. Для даних речовин та сполук розраховані середньодобові дози впливу на мешканців та оцінений канцерогенний ризик. Отримані дані показали, що індивідуальний канцерогенний ризик для мешканців, що живуть безпосередньо біля автомобільних доріг, значно перевищує аналогічний ризик для населення району, що розглядається. Середньодобові дози інгаляційного впливу для мешканців будинків, які розташовані біля доріг, в 1,2-2,4 рази вищі у порівнянні із дозами в середньому по місту.

В роботі [12] досліджено питання проникнення небезпечних речовин, які утворюються при русі автотранспортного потоку, в житлові приміщення разом із припливним повітрям. Зазначено, що, оскільки в житлових приміщеннях для провітрювання практично не застосовується система очищення припливного повітря, шкідливі речовини можуть потрапити всередину житлових кімнат. Основне навантаження при цьому несуть нижні поверхи житлових будинків. Проведені дослідження показали, що в будинках, розташованих поблизу магістральних вулиць, вміст шкідливих речовин в припливному повітрі, яке надходить до житлових приміщень, перевищує гранично допустимі концентрації в 15 – 23 рази. Це доводить важливість питання захисту забудови, прилеглої до магістральних вулиць, від інгредієнтного забруднення автотранспортного потоку.

1.1.2 Параметричне забруднення зони впливу автомобільної дороги. Як було зазначено вище, транспортні засоби чинять не тільки інгредієнтне, але й параметричне (акустичне) забруднення навколишнього середовища. Слід відмітити, що в теперішній час проблема шумового забруднення автомобільними дорогами навколишнього середовища є не менш актуальною, ніж інгредієнтного, оскільки проведені дослідження визначають нові аспекти негативного акустичного впливу на здоров'я мешканців мегаполісів.

Із збільшенням кількості транспортних засобів та швидкості їх пересування по вулицях великих промислових міст світова спільнота визначила шум як один з головних чинників, які погіршують рівень життя людей в містах.

У порівнянні з Україною, міжнародне співтовариство знаходиться на багато кроків попереду у питаннях боротьби з транспортним шумом. Шумове забруднення навколишнього середовища є актуальною проблемою для більшості країн Європейського союзу, що мають розвинену інфраструктуру.

Країни Європейського союзу послідовно йдуть шляхом підвищення жорсткості вимог стосовно шумовипромінювання транспортних засобів. Це говорить про те, що проблема зниження транспортного шуму здобуває в економічно розвинених країнах все більшу актуальність.

В країнах Євросоюзу на основі приблизних даних, зібраних муніципалітетами різних міст, встановлено, що значна кількість мешканців (близько 51 %) піддаються впливу акустичних коливань, що перевищують $L_{den} > 55$ дБ. Причому, на 13,1 % населення розглянутих міст країн Євросоюзу (Берлін, Прага, Будапешт, Варшава, Краків та ін.) впливає шум з рівнями $L_{den} = 55 \div 59$ дБ; 29,84 % жителів підлягають впливу акустичних коливань $L_{den} = 60 \div 69$ дБ; близько 8,1 % населення розглянутих міст страждають від шуму, рівні якого перевищують 70 дБ [13].

З метою захисту навколишнього середовища й зниження впливу негативних факторів на людей у рамках Європейської комісії при Євросоюзі створено Головне управління з питань навколишнього середовища (The Directorate-General for the Environment). З огляду на зростання значимості проблеми зниження шуму, DG Environment веде активну політику, спрямовану на зменшення впливу негативного акустичного фактору на жителів великих міст країн Європейського союзу. Зокрема, в 1996 р. розроблена програма «Зелений меморандум перспективної шумової політики» (The Green Paper on Future Noise Policy (COM(96) 540)), що послужила першим кроком у створенні Європейською комісією цілого напрямку боротьби із шумом у країнах ЄС, в основі якого лежить постулат, що жодна людина не повинна підлягати впливу шуму, що загрожує її здоров'ю і якості життя [14].

У документі вказується, що інформація про шумову обстановку в країнах - членах ЄС є недостатньою в порівнянні з іншими екологічними проблемами, дані мають істотні розбіжності внаслідок розходжень у методах їхнього одержання. Орієнтовно визначено, що близько 80 млн. чоловік (приблизно 20 % населення країн Єв-

росоюзу) піддаються впливу шуму, рівні якого фахівці й експерти в області охорони здоров'я вважають небезпечними для здоров'я. Ще 170 млн. жителів проживають у так званих «сірих областях», у яких шум досягає рівнів, що викликають занепокоєння й роздратування людей у денний час.

У рамках програми в країнах-членах ЄС ведуться роботи зі створення стратегічних карт шуму (Strategic Noise Maps), які є основою контролю над шумовою обстановкою поблизу транспортних і промислових джерел шуму. Створення шумових карт передбачає одержання інформації про кількість жителів, що піддаються впливу акустичних коливань різних рівнів внаслідок впливу дорожнього шуму L_{den} і L_{night} , залізничного шуму L_{den} і L_{night} , а також шуму промислових підприємств L_{den} і L_{night} . При цьому враховується кількість людей, що входять у загальне число жителів, що піддаються впливу шуму, чиї будинки мають шумозахисні фасади. Наприклад, згідно з інформацією, представленою у стратегічній шумовій карті Австрії, дані по впливу шуму автотранспортних засобів мають вигляд, представлений у таблицях 1.1-1.2 [15].

Таблиця 1.1 – Кількість людей, що підлягають впливу шуму автомобільних доріг в Австрії в денний час (L_{den})

Показник	Рівні шуму L_{den}				
	55-59	60-64	65-69	70-74	> 75
Кількість мешканців	354029	166463	163779	34760	297
Кількість мешканців у будинках з фасадом, захищеним від дії шуму	6778	18820	75806	24115	214

Документ [15] містить посилання на відповідні законодавчі документи державного й місцевого значення відносно транспортних і промислових джерел шуму, а також схему розподілу повноважень між органами державної й місцевої влади в питаннях підготовки карт шуму.

Таблиця 1.2 – Кількість людей, що підлягають впливу шуму автомобільних доріг в Австрії в нічний час (L_{night})

Показник	Рівні шуму L_{night}				
	50-54	55-59	60-64	65-69	> 70
Кількість мешканців	187261	170225	44292	1468	4
Кількість мешканців у будинках з фасадом, захищеним від дії шуму	17540	72411	29740	885	0

21 травня 2002 року офіційно затверджено Директиву ЄС щодо захисту навколишнього середовища від шуму. Директива 2002/49/ЄС, що прийнята Європейським парламентом 25 червня 2002 року, розглядає питання, які стосуються оцінки й керування шумом навколишнього середовища в цей час і є керівним документом у державах-членах ЄС.

Даний документ є прямим результатом проведеної Європейським союзом політики по захисту навколишнього середовища від шуму в рамках програми The Green Paper on Future Noise Policy з 1996 року. Він охоплює питання оцінки впливу на людей транспортних і промислових шумів, а також способів захисту від них. Директива вимагає, щоб карти шуму й стратегічні плани дій по боротьбі з ним були зроблені для:

- міст і населених пунктів з населенням більше 100 000 чоловік;
- основних доріг з інтенсивністю руху більш ніж 3 млн. транспортних засобів у рік (приблизно 8 тис. транспортних засобів у день);
- основних залізничних доріг з інтенсивністю руху більш ніж 30 тис. поїздів у рік;
- основних цивільних аеропортів, де проводиться більш ніж 50 тис. транспортних операцій у рік (приблизно 135 у день).

Вивченню специфічної й неспецифічної дії шуму на людину присвячені роботи Суворова Г.А., Карагодіної І.Л., Юдина Є. Я., Андрєєвої-Галаніної Є.Ц., Алексєєва С.В., Покровського М.М., Шидловської Т., Enda Murphy, James P. Chambers, Dusan Gruden та інших вітчизняних і закордонних учених.

Роботи дослідників показали, що шум несприятливо впливає практично на всі системи організму людини, викликаючи в ньому як короточасні, так і тривалі й стійкі функціональні зміни, що приводять до виникнення захворювань серцево-судинної, нервової й іншої систем, а також ослабленню імунної системи організму. Надмірний шум може стати причиною нервового виснаження, психічної пригніченості, вегетативного неврозу, виразкової хвороби, розладу ендокринної й серцево-судинної систем. Шум заважає людям працювати й відпочивати, знижує продуктивність праці й збільшує травматизм на виробництві й у побуті.

Негативний вплив шуму обумовлений його фізичними параметрами (рівень звукового тиску, частота, інтенсивність, тривалість впливу, постійний або непостійний шум і т.д.), специфікою людського організму (вік, стать, стан здоров'я й т.д.) та впливом супутніх факторів, які можуть підсилити шкідливий вплив шуму [16-18].

Вплив транспортного шуму на людину можливо розглядати в різних аспектах, зокрема стосовно:

- водіїв;
- працівників адміністративних та офісних будівель, лікарень, шкіл та інших об'єктів з особливими вимогами стосовно рівнів шуму, які розташовані поблизу автомобільних доріг,
- мешканців будинків, що розташовані в безпосередній близькості до автомобільних шляхів із значною інтенсивністю руху.

Зазначені категорії людей зазнають вплив шуму упродовж тривалого часу, тому для них дія шуму є особливо небезпечною.

В роботі [19] проводився аналіз впливу чинників зовнішнього середовища на умови перебування водія при керуванні транспортним засобом та безпеку дорожнього руху. Встановлено, що в кабіні водія фіксуються перевищення концентрацій токсичних речовин, які потрапляють внаслідок роботи паливної системи автомобіля, а також при потраплянні в кабіну зовнішнього повітря, яке також містить небезпечні речовини при русі транспортного засобу в автомобільному потоці. Також в кабінах визначено перевищення гранично допустимих рівнів шуму на 2,7 – 16 дБА майже на усіх типах вантажних автомобілів на усьому діапазоні середньгеометричних октав-

них частот. В кабінах автомобілів це перевищення склало 17-27 дБА. Крім того, встановлено значне вібраційне навантаження за показником віброприскорення на робочих місцях водіїв вантажних автомобілів, яке склало: для осі X та Y – на 12 – 37 дБ, по осі Z – на 14-35 дБ.

Шкідливому впливу шуму упродовж робочого дня підлягають не тільки водії транспортних засобів, але й працівники, чиї робочі приміщення знаходяться в будівлях, які розташовані в безпосередній близькості до магістральних вулиць. Також до цієї категорії належать викладачі та учні навчальних закладів, а також медичний персонал лікарень та безпосередньо хворі, які перебувають на стаціонарному лікуванні.

Стосовно впливу транспортного шуму на ефективність праці проведено дослідження [20], в якому вивчалися зміни психофізіологічних процесів пам'яті людини під впливом акустичних коливань. Експериментальні дослідження проводилися в м. Тегеран, які мають різну індивідуальну чутливість до звуків і шумів. В якості вихідного положення при дослідженні розумової діяльності виступало твердження, що розумова працездатність людини заснована на взаємодії двох опонентних психофізіологічних систем, одна з яких за допомогою знаково-числових X-програм частоти дихання та пульсу, артеріального тиску і температури пов'язана із функціональною активністю лівої півкулі головного мозку, а інша, за допомогою знаково-числових Y-програм тих самих вегетативних показників пов'язана із функціональною активністю правої півкулі мозку. В якості критерію ефективності розумової діяльності було обрано можливість переключення з однієї знаково-числової програми на іншу, що, в свою чергу, є індикатором стану адаптивної регуляції та критерієм розумової працездатності та поточного стану здоров'я осіб, які розглядаються.

Результати вивчення впливу шуму на опонентні психофізіологічні функції пам'яті показали, що суттєві порушення при виконанні розумової діяльності спостерігалися у студентів, які тривалий час знаходилися в місцях акустичного дискомфорту. Крім того, в процесі обстеження в них було виявлено значну кількість хронічних захворювань, що також побічно підтверджує шкідливу дію шуму.

Загальний внесок транспортного шуму в акустичний фон сельбищної зони оцінюється на рівні 60 – 80 % [21]. Встановлено, що транспортний шум впливає на мешканців сельбищної зони, яка розташована поблизу автомобільних доріг, упродовж 15-18 годин на добу. Також зазначено, що для сельбищної зони основну проблему становить саме низькочастотний шум, який має високу проникну здатність та генерується переважно вантажними автомобілями.

При проведенні досліджень щодо впливу шуму транспортних засобів на сельбищну зону при влаштуванні підземних паркінгів встановлено [22], що на швидкості пересування 10 км/год на відстані 7,5 м випромінюється шум, максимальні рівні якого становлять: для мікроавтобусів – 62 дБА; для легкових автомобілів – 56-60 дБА. При встановленні нормативних значень щодо максимальних рівнів шуму в зоні житлової забудови 70 дБА для денного часу доби [23] перевищення шуму автотранспортних засобів, зокрема мікроавтобусів, спостерігається вже на відстанях до 5 м. Таким чином, мешканці сельбищної зони, що розташована поряд, потрапляють під дію шуму, яка перевищує гігієнічні нормативи.

1.2 Нормування рівнів інгредієнтно-параметричного забруднення

1.2.1 Нормативні рівні інгредієнтного забруднення. Гранично допустимі обсяги викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах автотранспортних засобів в навколишнє середовище встановлюються галузевим стандартом [24] для окису вуглецю, вуглеводних сполук та окислів азоту. Даний стандарт передбачає встановлення гранично допустимих значень при проведенні випробувань залежно від робочого об'єму двигуна та особливостей системи випуску відпрацьованих газів (табл. 1.3).

Допустимі обсяги викидів шкідливих хімічних речовин автотранспортними засобами встановлюються європейськими стандартами Euro 1-5, які почали вводитися в дію в країнах Євросоюзу з 1993 р. спочатку для легкових автомобілів та автомобілів малої вантажопідйомності, потім для мотоциклів та легкових автомобілів, а, починаючи з 2000 року із введенням в дію стандарту Euro-3, граничні викиди шкідли-

вих речовин встановлюються для усіх видів колісних автотранспортних засобів, які підпадають під дію директив 2001/116/ЕС и 2002/24/ЕС [25].

Таблиця 1.3 – Гранично допустимі викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами за [24]

Вид палива, на якому працює двигун	Частота обертання на холодному ході	Оксид вуглецю, об'ємна частка, %	Вуглеводні, об'ємна частка, млн. ⁻¹ , для двигунів з числом циліндрів	
			до 4 циліндрів включно	більш ніж 4 циліндри
Бензин	n_{\min}	3,5	1200	2500
	$n_{\text{підв}}$	2,0	600	1000
Газ природний	n_{\min}	1,5	600	1800
	$n_{\text{підв}}$	1,0	300	600
Газ нафтовий	n_{\min}	3,5	1200	2500
	$n_{\text{підв}}$	1,5	600	1000
Нормативи викидів для автомобілів оснащених нейтралізаторами				
Частота обертання на холодному ході	Окислювальні нейтралізатори		Трикомпонентні нейтралізатори	
	Оксид вуглецю, об'ємна частка, %	Вуглеводні, об'ємна частка, млн. ⁻¹	Оксид вуглецю, об'ємна частка, %	Вуглеводні, об'ємна частка, млн. ⁻¹
n_{\min}	1,0	600	0,5	100
$n_{\text{підв}}$	0,6	300	0,3	100

Європейські стандарти Euro 1-5 встановлюють гранично допустимі норми викидів для бензинових та дизельних двигунів, причому для бензинових двигунів ці норми є більш жорсткішими стосовно оксидів азоту, а для дизельних двигунів – стосовно оксиду вуглецю.

Якщо проаналізувати тенденції стосовно змін гранично допустимих норм викидів забруднюючих речовин в стандартах Euro, можна зробити висновок, що спосте-

рігається спрямованість щодо посилення вимог до шкідливої емісії небезпечних речовин в навколишнє середовище.

З наведених в додатку А даних [26-27] видно, що директиви ЄС в міру впровадження кожного рівня директив роблять жорсткішими вимоги до викидів забруднюючих речовин з урахуванням категорії колісних автотранспортних засобів.

Нормативні значення концентрацій забруднюючих речовин в повітрі населених міст встановлюються у [28], причому при нормуванні враховується ефект сумачії при комбінованій дії забруднюючих речовин.

1.2.2 Нормування акустичного забруднення. Зараз в Україні діє стандарт, що був випущений за часів існування СРСР, ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [29], який вводить класифікацію шуму та визначає допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях залежно від виду трудової діяльності, особливостей робочого місця та характеру спектру шуму, що випромінюється.

В 1984 році введено в дію СанПіН 3077-84 [23], які регламентують допустимі рівні шуму в житлових приміщеннях та на прилеглих територіях (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Допустимі рівні шуму на територіях

№ з/п	Характеристика трудової діяльності, робочого місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку L_A та еквівалентні рівні звуку $L_{Aекв}$, дБА/максимальні рівні звуку L_{Amax}
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	Території, що безпосередньо прилягають до будівель навчальних закладів (СаНПіН 3077-84): з 7-00 до 23-00 з 23-00 до 7-00	-	75	66	59	54	50	47	45	43	55 / 70
		-	67	57	49	44	40	37	35	33	45 / 60
2	Території, що безпосередньо прилягають до будівель лікарень (СаНПіН 3077-84): з 7-00 до 23-00 з 23-00 до 7-00	-	67	57	49	44	40	37	35	33	45 / 60
		-	59	48	40	34	30	27	25	23	35 / 50

Таблиця 1.5 – Допустимі рівні шуму в житлових приміщеннях сельбищної зони

№ з/п	Призначення приміщення або території	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку L_A та еквівалентні рівні звуку $L_{Aекв}$, дБА/максимальні рівні звуку $L_{a max}$, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Житлові приміщення (СаНПіН 3077-84): з 7-00 до 23-00 з 23-00 до 7-00	-	63	52	45	39	35	32	30	28	40 / 55
		-	55	44	35	29	25	22	20	18	30 / 45
2	Територія, що безпосередньо прилягає до житлових будинків(СаНПіН 3077-84): з 7-00 до 23-00 з 23-00 до 7-00	-	75	66	59	54	50	47	45	43	55 / 70
		-	67	57	49	44	40	37	35	33	45 / 60

В Україні діє ряд нормативних документів, які встановлюють допустимі рівні зовнішнього шуму транспортних засобів, наприклад [30-33].

Нормативні граничні значення рівнів шуму, відповідно до [32], із встановленою швидкістю до 50 км/го д наведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Граничні рівні шуму колісних транспортних засобів

№ з/п	Категорії транспортних засобів	Граничні величини, дБ(А)
1	Колісні транспортні засоби для перевезення пасажирів, що можуть мати не більш ніж дев'ять сидячих місць разом із місцем водія	74
2	Колісні транспортні засоби для перевезення пасажирів, що мають більше ніж дев'ять сидячих місць разом із місцем водія і максимальна дозволена маса яких перевищує 3,5 т - з двигуном потужністю менше ніж 150 кВт (ЄЕК) - з двигуном потужністю 150 кВт (ЄЕК) або більше	78
		80
3	Колісні транспортні засоби для перевезення пасажирів, що мають більше ніж дев'ять сидячих місць разом із місцем водія; транспортні засоби для перевезення вантажів - з максимально дозволеною масою, що не перевищує 2 т - з максимально дозволеною масою, що перевищує 2 т, але яка не перевищує 3,5 т	76
		77
4	Колісні транспортні засоби для перевезення вантажів, що мають максимально дозволenu масу більше ніж 3,5 т - з двигуном потужністю менше ніж 75 кВт (ЄЕК) - з двигуном потужністю 75 кВт (ЄЕК) або більше, але менш ніж 150 кВт (ЄЕК) - з двигуном потужністю 150 кВт або більше	77
		78
		80

Примітка: 1) для типів колісних транспортних засобів, зазначених в п. 1,3 табл. 1.6, обладнаних двигуном внутрішнього згорання із запалюванням від стиску і прямим впорскуванням, граничні величини шуму збільшуються на 1 дБ(А);

2) для типів колісних транспортних засобів, призначених для використання в умовах бездо-ріжжя, і таких, що мають максимально дозволена масу більш ніж 2 т, граничні величини збільшу-ються, залежно від потужності двигуна, на 1-2 дБ(А).

1.3 Аналіз факторів, що впливають на рівні інгредієнтно-параметричного забруднення навколишнього середовища

1.3.1 Фактори, що впливають на ступінь інгредієнтного забруднення

придорожнього простору населених пунктів. Численними дослідженнями впливу автомобільних доріг на стан атмосферного повітря встановлено, що поблизу магістральних вулиць рівень забруднення повітря хімічними речовинами та сполу-ками, шкідливими для організму людини, суттєво перевищує допустимі показники. Ступінь забруднення повітря залежить від особливостей організації руху по автомо-більній дорозі, параметрів транспортного потоку та характеристик навколишнього середовища, включаючи розташування будівель і споруд, наявності зелених наса-джень та ін.

На величину зони забруднення впливає низка факторів, які поділяються на на-ступні групи [34-35]:

- 1) фактори техногенного характеру – інтенсивність руху, склад транспортного потоку, тип пального та його якість, стан автомобільної дороги;
- 2) природні фактори – метеорологічні характеристики повітряного середовища, переважний напрям повітря;
- 3) архітектурно-планувальні фактори – характеристика прилеглої забудови (ви-сота, щільність), наявність зелених насаджень та ін.

При порівнянні рівнів інгредієнтного забруднення від автомобільних доріг різ-них категорій встановлено, що найбільший його рівень спостерігається на дорогах загальноміського значення з регульованим рухом [36]. Причому на рівень забруд-нення викидами відпрацьованих газів впливає період року: взимку, у зв'язку із зме-ншенням інтенсивності руху загальний рівень забрудненості на дорогах знижується.

В роботі [10] на прикладі низки вулиць м. Києва проведено дослідження ступеня забруднення атмосферного повітря викидами відпрацьованих газів транспортних засобів. Встановлено, що на ступінь забруднення суттєво впливає щільність транспортного потоку, а також характер примігстральної забудови та наявність промислових підприємств, які вносять свій вклад в загальне забруднення повітря. Мінімальний рівень забруднення, порівняно з іншими досліджуваними вулицями, встановлено для автомобільних доріг із достатньою шириною та вільною забудовою. Ці фактори сприяють зменшенню кількості заторів та покращенню повітрообміну. Все це у поєднанні дає позитивний ефект стосовно рівня забруднення сельбищної зони.

Найбільш небезпечними ділянками доріг в аспекті хімічного забруднення відпрацьованими газами є місця вимушеної затримки транспортних засобів – на перехрестях в очікуванні дозволяючого сигналу світлофора, в місцях з низькою пропускнуою здатністю, біля зупинок транспорту загального користування та ін. В цих місцях концентрація шкідливих речовин досягає пікових значень [37], тому водії та мешканці сельбищної зони, яка розташована біля цих ділянок, отримують більш виражене шкідливе навантаження на свій організм. Також увагу привертає той факт, що у випадку оточення автомобільної дороги з обох боків багатопверховими будівлями, відбувається накопичення шкідливих речовин навіть при незначній інтенсивності руху транспорту, яке призводить до того, що перевищення ГДК спостерігається до четвертого поверху будівель, які утворюють «магістральний коридор».

Організація руху транспортних засобів по магістральній вулиці суттєво впливає на рівень хімічної забрудненості навколишнього середовища. Дослідження, які проводилися в Деснянському районі м. Києва [38], показали, що організація безперервного руху транспортних засобів з максимально можливою швидкістю призводить до зменшення викидів забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Встановлено, що в місцях вимушеної зупинки транспортних засобів на перехрестях концентрація оксидів вуглецю в 2,5-4 рази вище, ніж на перегонах, причому радіус зони підвищеного забруднення біля перехресть становить 50-200 м залежно від інтенсивності руху.

Також в ході проведеного аналізу [39] режимів руху транспортних засобів (холостий хід – прискорення – стала швидкість - уповільнення) встановлено, що найбільший викид оксиду вуглецю та вуглеводних сполук спостерігається в режимах прискорення та сталої швидкості. При цьому слід враховувати, що для умов міста на значній кількості автомобільних доріг в години пік характерним є рух з невеликою швидкістю, що збільшує викиди оксиду вуглецю в 1,5-2 рази порівняно з ділянками вільного руху.

У зв'язку із щільністю міської забудови, яка зараз набуває значних масштабів в умовах великих промислових міст, інтерес представляє питання прогнозування розповсюдження забрудненого повітря в навколишнє середовище. При наявності реалістичної прогностичної моделі поширення забруднюючих речовин від автотранспортного потоку є можливою розробка перспективних планів стосовно впровадження захисних заходів з метою підвищення екологічної безпеки сельбищної зони.

1.3.2 Фактори, що впливають на ступінь акустичного забруднення транспортними потоками навколишнього середовища. Для задач дослідження впливу транспортного шуму на зону впливу автомобільної дороги інтерес представляє вплив характеристик транспортного потоку, а також прилеглої території на рівні шуму в навколишньому середовищі.

В умовах руху транспорту по вулицях міста на рівні шуму, що випромінюються транспортними потоками в навколишнє середовище, впливають наступні групи факторів:

- характеристики транспортного потоку;
- характеристики навколишнього середовища.

До характеристик транспортного потоку належать наступні параметри:

- якісний склад транспортного потоку (мається на увазі наявність різних видів дорожніх транспортних засобів в потоці, а саме: легкових автомобілів, вантажних автомобілів, автобусів, мікроавтобусів, тролейбусів, автопоїздів, мотоциклів, мопедів, а також трамваїв);

- кількісний склад транспортного потоку (співвідношення різних видів дорожніх транспортних засобів у потоці);
- інтенсивність руху транспортного потоку;
- середня швидкість руху транспортного потоку на ділянці автомобільної дороги, що досліджується.

Характеристики навколишнього середовища можна класифікувати на наступні підгрупи:

1) характеристики дорожнього покриття та елементів доріг:

- стан автомобільної дороги;
- поздовжній профіль;
- висота бордюрів;

2) характеристики території, що прилягає до автомобільної дороги:

- наявність дерев та кущів уздовж ділянки дороги;
- кількісний та якісний склад дерев та кущів;
- щільність листя на деревах;
- відстань між автомобільною дорогою та досліджуваним об'єктом;
- наявність природних чи штучних елементів, що перешкоджають розповсюдженню акустичних коливань від автомобільної дороги в навколишнє середовище;

3) характеристики навколишнього середовища:

- температура повітряного середовища;
- вологість повітряного середовища;
- швидкість руху повітряного середовища;
- тиск повітряного середовища.

Транспортний потік являє собою складну систему взаємодії різних видів транспортних засобів з дорогою. Деякі дослідники вважають, що рух транспортних засобів у потоці можливо представити як детермінований та безперервний процес [40]. Інші представляють його як стохастичний процес, оскільки його характеристики допускають прогнозування лише з деяким ступенем вірогідності [41].

В рамках розглядання цього процесу доцільним є зосереджувати увагу на наступних показниках: інтенсивність та середня швидкість, а також щільність руху автотранспортних засобів в потоці.

1.4 Аналіз існуючих математичних моделей з визначення рівнів інгредієнтно-параметричного забруднення автомобільної дороги

1.4.1 Оцінка існуючих математичних моделей з визначення інгредієнтного забруднення. Для оцінки необхідності застосування захисних заходів зони впливу автомобільної дороги важливим є оцінка рівнів інгредієнтного забруднення. В роботі Н.Я Говорущенко [42] для розрахунку викидів забруднюючих речовин запропонована наступна формула:

$$Q = 0,054 \rho_t M_x (A_2 + B_2 N_1 + C_2 N_1^2) A_{i_n} + B_{i_k}^2 V_a + C (G_a \varphi + 0,077 k F V_a^2) (a_1 + b_1 N_1) / \eta_i, \quad (1.1)$$

де M_x – молекулярна маса токсичних речовин, г/моль;

ρ_t – щільність повітря, кг/м³;

$G_a \varphi$ – сумарний опір дороги, Н;

N_1 – відсоток потужності карбюратора, що використовується;

V_a – швидкість руху автомобілю, км/год;

A, B, C – коефіцієнти, постійні для даного типу автомобіля;

a_1, b_1 – коефіцієнти, постійні для даного карбюратора;

A_2, B_2, C_2 – коефіцієнти, постійні для певних токсичних речовин.

Недоліком даної математичної залежності є її складність у практичному застосуванні за рахунок значної кількості вхідних даних, а також неврахування факторів оточуючого середовища, що впливають на інгредієнтне забруднення.

Бондаренком Е.В., Дворниковим Г.П. в роботі [36] запропонована формула для визначення масового викиду забруднюючих речовин при русі транспортних засобів по автомобільній дорозі

$$M_{ij} = m_{ij} \cdot L_{\text{общ}}^N \cdot 10^{-6}, \quad (1.2)$$

де m_{ij} – приведений про біговий викид, г/км;

$L_{\text{общ}}^N$ - сумарний річний пробіг автомобілів по даній вулиці, який є функцією часу, інтенсивності та швидкості руху автотранспортних засобів, км.

Цей вираз, на відміну від попереднього, має низький рівень інформативності і враховує лише параметри транспортного потоку.

В роботі [43] запропоновано приводити усі забруднюючі речовини, що викидаються автотранспортним засобом, до CO та визначати масовий викид автомобіля за одиницю часу за формулою:

$$G_{\Sigma} = G_{CO} + R_{NO_x}^{CO} \cdot G_{NO_x} + R_{C_nH_m}^{CO} \cdot G_{C_nH_m} + R_C^{CO} \cdot G_C, \quad (1.3)$$

де G_{CO} , G_{NO_x} , $G_{C_nH_m}$, G_C – масові викиди відповідно CO, NO_x, C_nH_m, C, мг/год;

$R_{NO_x}^{CO}$, $R_{C_nH_m}^{CO}$, R_C^{CO} – коефіцієнти приведення по токсичності для відповідної забруднюючої речовини.

За таким же принципом побудовані математичні вирази щодо оцінки рівнів інгредієнтного забруднення автотранспортного потоку в роботах [44-48].

Значну інформативність в аспекті інгредієнтного забруднення має формула [49]:

$$M_{mp;ijk} = \frac{N_o \cdot N_{jk} \cdot g_{ijk}(V_{jk}) \cdot T_{jk}(V_{jk}) \cdot K_c \cdot K_f \cdot K_T}{3600}, \quad (1.4)$$

де $M_{mp;ijk}$ – маса викидів і-ої речовини автомобілем j-го виду з k-им типом двигуна в годину пік, г/с;

N_o – загальна кількість автомобілів в одному напрямі, нат.од/год. пік;

N_{jk} – частка jk-автомобілів в транспортному потоці, частки від N_o ;

$g_{ijk}(V_{jk})$ – питомий викид і-ої речовини jk-автомобілем в залежності від поточної швидкості руху V_{jk} , г/с;

$V_{jk(t)}$ – поточна швидкість руху jk -автомобілів, км/год;

$T_{jk}(V_{jk})$ – тривалість роботи двигуна одного jk -автомобіля за годину пік при фіксованій швидкості руху V_{jk} , с;

$K_c = K_{cijk}$ – поінгредієнтний коефіцієнт впливу схилу дороги;

$K_f = K_{fijk}$ – поінгредієнтний коефіцієнт впливу опору руху;

$K_T = K_{Tijk}$ – коефіцієнт рівня технічного стану транспортних засобів.

Однак даний вираз також не дозволяє врахувати фактори навколишнього середовища при оцінці концентрації хімічних речовин.

Таким чином, в основному формули для оцінки інгредієнтного забруднення автотранспортного потоку зводяться до визначення масового викиду забруднюючих речовин без урахування інших факторів, які впливають на їх концентрацію в повітрі магістральних вулиць.

1.4.2 Аналіз стану питання дослідження акустичного забруднення транспортних потоків. Дослідженням впливу транспортного шуму на навколишнє середовище займалися наступні вітчизняні та закордонні вчені: Б.Г. Прутков, Є.П. Самойлюк, П.І. Поспелов, О.О. Крузе, Є.Я. Юдін, Г.Л. Осіпов, М.І. Іванов, Р. М. Nelson, MacKenzie Leo Davis, M. Kapusta та інші. Дослідниками в різні часи встановлені залежності рівнів звукового тиску шуму транспортних потоків від їх параметрів: інтенсивності, середньої швидкості руху, куту нахилу дорожнього шляху, дорожніх умов та інших показників, які впливають на загальний рівень шумовипромінювання автомобільної дороги.

Прагнення дослідників зробити прогностичну модель зовнішнього шуму автомобільних доріг якомога точнішою змушує включати до розгляду значну кількість факторів, що характеризують дорожні умови, стан полотнини, зовнішні фактори та параметри транспортного потоку, які здійснюють різний вклад в загальний процес шумовипромінювання та привносять розбіжності в кінцевий результат, що в підсумку погіршує прогностичні властивості математичної моделі.

За П.І. Поспеловим [50] прогностична модель, яка характеризує шум транспортного потоку при інтенсивності руху $N = 60 \div 1500$ од./год виглядає як:

$$L = 50 + 8,81 \lg N + \Delta L_i, \quad (1.5)$$

де L – рівень шуму транспортного потоку на відстані 7,5 м від вісі найближчої смуги руху автомобільної дороги, дБА;

N – інтенсивність руху, авт./год;

ΔL_i – поправка на дорожні умови та особливості руху автотранспортних засобів.

Є.П. Самойлюк [51] запропонував наступну залежність рівня транспортного шуму від інтенсивності потоку автомобілів:

$$L = 50 + 10 \lg N + D, \quad (1.6)$$

де D – сумарна поправка, яка враховує умови дорожнього руху.

Орієнтовна залежність шуму автотранспортного потоку від інтенсивності його руху N (для інтенсивності руху автомобільної дороги, що знаходиться в межах 1000 – 5000 од./год) за М.І. Івановим має наступний вигляд [52]:

$$L_A = 72 + 10 \lg \frac{N}{1000}. \quad (1.7)$$

В.М. Луканін та Ю.В. Трофіменко рекомендують оцінювати шум транспортного потоку за виразом [53]:

$$L_A = 10 \lg N_a + 13,3 \lg V + 8,4 \lg S_1 + 9,5, \quad (1.8)$$

де N_a – розрахункова інтенсивність руху, авт./год;

V – швидкість руху, км/год;

S_1 – частка вантажних автомобілів у автотранспортному потоці, %.

В стандарті [54], який є чинним з початку 2014 року, пропонується визначати очікуваний рівень шуму від транспортного потоку за формулою:

$$L_{\text{Аекв}} = 44 + 0,26V_c + 10 \lg \left(\frac{N_3}{V_3} \right) + \Delta L_{A_{\text{покp}}} + \Delta L_{A_{\text{ухил}}}, \quad (1.9)$$

де V_c – середня швидкість транспортного потоку на перегоні, яка визначається згідно виразу:

$$V = \frac{(V_{\text{Л}} \cdot N_{\text{Л}} + V_{\text{ВЛ}} \cdot N_{\text{ВЛ}} + V_{\text{ВС}} \cdot N_{\text{ВС}} + V_{\text{ВВ}} \cdot N_{\text{ВВ}})}{N_{\text{Л}} + N_{\text{ВЛ}} + N_{\text{ВС}} + N_{\text{ВВ}}}, \quad (1.10)$$

де $V_{\text{Л}}$, $N_{\text{Л}}$ – відповідно швидкість та інтенсивність руху легкових автомобілів та їхніх модифікацій для перевезення вантажів, а також вантажних автомобілів з дозволеною максимальною масою до 3,5 т включно, од/годину (легкі автомобілі);

$V_{\text{ВЛ}}$, $N_{\text{ВЛ}}$ – відповідно швидкість та інтенсивність руху вантажних автомобілів та автобусів з дозволеною максимальною масою до 5 т включно, од/годину (вантажні легкі автомобілі);

$V_{\text{ВС}}$, $N_{\text{ВС}}$ – відповідно швидкість та інтенсивність руху вантажних автомобілів та автобусів з дозволеною максимальною масою від 5 до 12 т включно, а також тролейбусів, од/годину (вантажні середні автомобілі);

$V_{\text{ВВ}}$, $N_{\text{ВВ}}$ – відповідно швидкість та інтенсивність руху вантажних автомобілів та автобусів з дозволеною максимальною масою вище 12 т, од/годину (вантажні важкі автомобілі);

N_3 – зведена (за звуковою енергією) інтенсивність руху в од/год, яка визначається за формулою:

$$N_3 = N_{\text{Л}} + N_{\text{ВЛ}} + N_{\text{ВС}} + N_{\text{ВВ}}, \quad (1.11)$$

V_3 – зведена (відносно швидкості легкових автомобілів) середня швидкість транспортного потоку на перегоні, км/год, яка визначається за формулою:

$$V_3 = V_L + 1,44V_{BL} + 1,18V_{BC} + 1,22V_{BB}, \quad (1.12)$$

$\Delta L_{\text{Апокp}}$ – поправка у дБА, що враховує тип покриття проїзної частини вулиці або дороги та визначається за [54];

$\Delta L_{\text{Аухил}}$ – поправка у дБА, що враховує поздовжній ухил вулиці або дороги, визначається за [54].

Наведена вище методика визначення очікуваного рівня шуму автотранспортного потоку представляється незручною у використанні завдяки значній кількості необхідних вихідних даних.

Підсумовуючи вищезазначені формули для визначення очікуваного рівня шуму транспортного потоку (3.5 – 3.9), можна зробити висновок, що більшість прогностичних моделей мають наступний вид:

$$L = A \pm B \lg N \pm C \lg V + D, \quad (1.13)$$

де A, B, C – константи;

N – величина інтенсивності руху транспортних засобів;

V – середня швидкість руху транспортних засобів потоці;

D – сумарна поправка, яка включає в себе поправочні коефіцієнти, що характеризують фактори навколишнього середовища, дорожні умови та ін.

Таким чином, збільшуючи кількість додаткових інформативних показників в прогностичній моделі без урахування суттєвості їх вкладу в загальний процес шумовипромінювання можливо отримати результати, які не будуть наближені до реальності.

У зв'язку з цим доцільно проводити ранжирування факторів, які впливають на зміну рівнів шуму транспортного потоку, та включати в прогностичну модель лише ті, що є суттєвими для процесу, що розглядається.

1.5 Заходи щодо зниження рівнів інгредієнтно-параметричного забруднення навколишнього середовища

1.5.1 Заходи щодо зниження інгредієнтного забруднення придорожного простору населених пунктів. У зв'язку з доведеною шкідливістю забруднюючих речовин, які містяться у відпрацьованих газах автомобільних транспортних засобів, для навколишнього середовища та людей, які працюють або мешкають в будинках, розташованих поблизу автомобільних доріг, постає нагальна потреба в розробці організаційно-технічних заходів, які б перешкоджали утворенню та розповсюдженню забруднюючих газів в атмосферний простір.

Основними напрямками покращення стану атмосферного повітря та захисту людей, які працюють чи мешкають поблизу автомобільних доріг, є:

1. Підвищення екологічності транспортних засобів на етапі проектування, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту.
2. Перешкоджання розповсюдженню забруднюючих речовин в сельбищну зону.
3. Регулювання кількості викидів забруднюючих речовин засобами організації дорожнього руху.

Розглянуті напрямки можна деталізувати наступним чином.

1. Підвищення екологічності транспортних засобів забезпечується як на етапі їх проектування так і в ході подальшої експлуатації. Ці заходи включають в себе [55-58]:

- 1) на етапі проектування транспортного засобу:
 - використання екологічно чистих видів палива;
 - удосконалення конструкції нейтралізаторів та сажевловлювачів відпрацьованих газів;
 - удосконалення робочого циклу двигунів внутрішнього згоряння;
 - використання альтернативних двигунів;
- 2) на етапі експлуатації транспортного засобу:
 - використання антитоксичних паливних домішок;

- застосування якісних паливних та мастильних матеріалів з покращеними екологічними властивостями;

- посилення державного контролю за станом екологічної безпеки автотранспортних підприємств;

- запровадження економічних важелів стимулювання оновлення автомобільного парку;

3) при технічному обслуговуванні і ремонті:

- удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів;

- контроль складу відпрацьованих газів після ремонту транспортного засобу;

- застосування сучасного обладнання та матеріалів при відновленні вузлів та агрегатів.

2. Перешкоджання розповсюдженню небезпечних забруднюючих речовин на сельбищну зону здійснюється за рахунок впровадження наступних заходів:

- розміщення зелених насаджень із щільним листям;

- дотримання регламентованих відстаней від автомобільної дороги до житлової чи офісної забудови;

- використання локальних конструкційних перешкод;

- розташування будівель нежитлового призначення між автомобільною дорогою та житловою забудовою;

- використання тунелів в місцях близького розташування житлової забудови до магістральної вулиці при високій інтенсивності руху транспортних засобів;

3. Регулювання кількості викидів забруднюючих речовин засобами організації дорожнього руху:

- вдосконалення системи об'їздних шляхів для автотранспортних засобів в обхід житлової забудови;

- підвищення пропускної здатності автомобільних доріг.

1.5.2 Заходи щодо зниження шкідливого впливу транспортного шуму.

Складний процес розповсюдження транспортного шуму на робочі місця та сельбищну зону вимагає розробки й впровадження комплексних шумозахисних заходів.

Відповідно до [59] методи колективного захисту так класифікуються за способами реалізації: акустичні; архітектурно-планувальні; організаційно-технічні (рис. 1.1).

Стосовно захисту від шуму сельбищної зони й робочих місць, розташованих у будинках поблизу автомобільних доріг, доцільно використовувати такі акустичні засоби захисту: засоби звукоізоляції; засоби звукопоглинання, віброізоляції, демпфування та глушники шуму. Причому стосовно питання боротьби із транспортним шумом заходами з виконання звукоізоляції є підвищення звукоізолюючих властивостей конструкцій будинків і споруд, а також конструкції кабіни водія, що огорожують; акустичні екрани, відгородження [60-62]. При захисті будинків та кабін транспортних засобів від шуму використовуються засоби звукопоглинання, а саме звуковбирні облицювання. Також можливе поєднання засобів звукоізоляції та звукопоглинання в конструкціях, що огорожують.

Використання архітектурно-планувальних та організаційно-технічних методів захисту будинків від шуму транспортних потоків може виконувати як захисні, так й естетичні функції. Ці методи містять у собі оптимальні акустичні рішення щодо планування розташування будинків; створення й оптимальне акустичне планування зон та режиму руху транспортних засобів і транспортних потоків; створення шумозахищених зон у різних місцях можливого перебування людини в процесі своєї життєдіяльності [60-61].

ЗАСОБИ ТА ЗАХОДИ ПО ЗНИЖЕННЮ ТРАНСПОРТНОГО ШУМУ НА ЗОНУ ЖИТЛОВОЇ ТА ОФІСНОЇ ЗАБУДОВИ



Рисунок 1.1 – Засоби захисту примігстральної території від транспортного шуму

Одним з найбільш перспективних напрямків захисту сельбищної зони та робочих місць, що знаходяться у приміщеннях будівель, які розташовані поблизу автомобільних доріг, є застосування захисних інженерних споруд. До переваг застосування захисних екранів у порівнянні, наприклад, з зеленими насадженнями, слід віднести сталу ефективність, незалежно від періоду року, щільності листя. Крім того ефективність дії захисних інженерних конструкцій настає з моменту їх встановлення, в той час як для досягання певної шумозахисної ефективності зеленими насадженнями потрібний тривалий час, доки дерева та кущі здобудуть певну висоту та інші характеристики.

Якщо порівнювати захисні екрани із земляними валами чи виїмками, то очевидно, що ці шумозахисні заходи доцільно застосовувати в місцях, де це дозволяє робити природний рельєф місцевості.

Слід зазначити, що вищеназвані шумозахисні заходи, а саме: земляні вали чи виїмки практично не мають застосування в умовах міста. Теж саме можна сказати про захист від транспортного шуму відстанню. Створення буферних зон в умовах зростання щільності міської забудови буде економічно невиправданим.

За кордоном достатнє поширення набуло тунельне вирішення питання боротьби з транспортним шумом. Безумовними перевагами цього рішення є висока шумозахисна ефективність, а також вирішення питання розвантаження транспортних артерій міста. Однак при розгляданні такого варіанту зниження транспортного шуму необхідно враховувати високі капіталовкладення на будівництво та подальшу експлуатацію підземних доріг.

Висновки

1. Транспортний потік, який рухається вулицями міста, завдає значної шкоди навколишньому середовищу завдяки інгредієнтно-параметричному забрудненню сельбищної зони, що прилягає до автомобільних доріг. Значна частка мешканців м. Харкова, що живе або працює поблизу магістральних вулиць, отримує суттєве еко-

логічне навантаження, величина якого залежить від параметрів транспортного потоку та зовнішнього середовища.

2. Аналізуючи заходи, спрямовані на покращення стану повітряного середовища поблизу автомобільних доріг, можна зробити висновок, що за двома критеріями – інгредієнтне та параметричне забруднення – вони є суперечливими. Так, наприклад, оскільки середня швидкість руху транспортних засобів в потоці безпосередньо впливає на еквівалентний рівень шуму, для зменшення рівнів акустичного навантаження доцільним є зменшення цього значення. Однак це, в свою чергу, викликає підвищення інгредієнтного забруднення на даній ділянці автомобільної дороги. Більшість заходів, які були б однозначно ефективними і в аспекті інгредієнтного, і в плані зменшення акустичного навантаження (наприклад - тунелі) потребують значних капіталовкладень. Створення буферних зон, яке б могло захистити сельбищну зону від вказаних небажаних впливів транспортних потоків, йде в розріз з тенденцією ущільнення міської забудови в мегаполісах, а також не може бути впроваджене для архітектурної забудови, що вже склалася. Зелені насадження, які висаджують для захисту будівель від зазначених шкідливих факторів, для отримання суттєвого ефекту повинні розміщуватися шириною більш ніж 20 м, що є майже нездійсненним в містах.

3. Найбільш дієвими заходами захисту житлової забудови від шкідливого впливу магістральних вулиць, є впровадження локальних заходів, які дозволяють зменшити екологічне навантаження на зону впливу автомобільної дороги.

Нажаль, повністю усунути шкідливий вплив автотранспортних потоків на людей, які працюють чи мешкають в будівлях, розташованих поряд з автомобільною дорогою, неможливо. Однак потрібно намагатися, щоб небезпека була зведена до мінімуму. Тому в дисертаційній роботі ставиться ряд задач:

- проаналізувати фактори, які формують інгредієнтно-параметричне забруднення в зоні впливу автомобільних доріг;
- дослідити фактори, які впливають на збільшення інгредієнтної емісії транспортного потоку;
- вивчити фактори, що призводять до зростання шуму транспортного потоку;

- встановити залежності між параметрами автотранспортного потоку й зростанням екологічного навантаження автомобільної дороги на навколишнє середовище;

- удосконалити математичні моделі, що характеризують залежність інгредієнтно-параметричного забруднення від параметрів транспортного потоку та навколишнього середовища;

- оцінити прогностичні властивості отриманих математичних залежностей;

- на підставі проведених досліджень розробити заходи для зниження рівня забруднення зони, прилеглої до автомобільної дороги.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

2.1 Моделювання складу транспортного потоку для дослідження інгредієнтного забруднення автомобільної дороги

Вище зазначалося, що інтенсивність та швидкість руху, а також якісний склад автотранспортного потоку обумовлюють концентрацію забруднюючих речовин в навколишньому середовищі, а параметри навколишнього середовища та характеристика забудови впливають на ступінь розповсюдження цих речовин в атмосфері. Метою дослідження є встановлення залежності між рівнем інгредієнтного забруднення, параметрами автотранспортного потоку та оточуючим середовищем.

Загальна концентрація забруднюючих речовин та пилу в повітрі залежить від кількості речовин, що викидаються в повітря при русі автомобіля. Визначимо їх орієнтовну кількість для різних типів автотранспортних засобів, що можуть бути присутні в автотранспортному потоці, враховуючи нормативні витрати палива для різних типів автомобільного транспорту за формулами [63-64]:

- для легкових автомобілів та автобусів нормативні витрати палива визначаються як:

$$Q = 0,01 \cdot H_s \cdot S(1 + 0,01 \cdot k_{кор}), \quad (2.1)$$

де H_s – базова лінійна норма витрати палива, л/100 км;

S – пробіг автомобіля, км;

$K_{кор}$ – сумарний корегуючий коефіцієнт, %.

- для вантажних автомобілів витрати палива розраховуються за формулою:

$$Q = 0,01(H_{san} \cdot S + H_w \cdot W) \cdot (1 + 0,01 \cdot k_e), \quad (2.2)$$

де H_{san} – лінійна норма витрати палива на пробіг автопоїзда, що визначається як

$$H_{san} = H_s + H_g \cdot G_{np}, \quad (2.3)$$

де H_g – норма витрати палива на одну тону спорядженої маси причепа або напівпричепа, що визначається згідно [63];

G_{np} – споряджена маса причепа або напівпричепа, т;

H_w – норма на транспортну роботу згідно [63], л/100т·км;

W – обсяг транспортної роботи, т·км.

Розрахунок кількості викидів оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксиду азоту, діоксиду сірки, сажі у повітря при русі транспортних засобів здійснюється згідно [64] для різних видів палива за формулами:

$$B_{jik} = M_{i_{палк}} \cdot k_{пв_{jik}} \cdot k_{тс_{jik}}, \quad (2.4)$$

де $M_{i_{палк}}$ – обсяги спожитого палива і-го виду к-ю групою автотранспорту;

$k_{пв_{jik}}$ – усереднені питомі викиди j-ї забруднюючої речовини з одиниці палива і-го виду автомобілями;

$k_{тс_{jik}}$ – коефіцієнт впливу технічного стану на питомі викиди j-ї забруднюючої речовини к-ї групи автотранспорту.

Результуюча кількість викидів j-ї забруднюючої речовини автомобілями в транспортному потоці визначається як сума викидів j-ї забруднюючої речовини від споживання всіх видів палива по всіх групах автотранспорту.

Використовуючи методику визначення концентрації та її розподілення поблизу автомобільної дороги [65], визначимо концентрацію забруднюючих речовин, що містяться у відпрацьованих газах з урахуванням різного складу автотранспортного потоку на певній ділянці автомобільної дороги, що задається виразом

$$S = \sum_{k=1}^n P_k (T + L_k), \quad (2.5)$$

де P_k – кількість автомобілів k -ї групи, авт.;

T – інтервал руху, с;

L_k – середня довжина транспортного засобу k -ї групи, м.

Концентрація j -ї речовини згідно [65] визначається як

$$C_j = \frac{2q_j}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot v \cdot \sin \varphi} + F, \quad (2.6)$$

де q – емісія викиду j -ї речовини, г/мс;

σ – стандартне відхилення розсіяння Гауса;

v – швидкість вітру, що переважає на момент проведення розрахунку;

φ – кут між напрямом вітру та віссю дороги.

Уточнення методики розрахунку концентрації забруднюючих речовин [65] стосовно визначення обсягів викидів цих речовин, що здійснюється за формулами (2.1-2.6), дозволило отримати рівняння

$$C_j = \frac{0,01H_i \left(\sum_{k=1}^n P_k (T + L_k) \right) (1 + 0,01k_{kop}) \cdot k_i \cdot k_{не\ jik} \cdot k_{mc\ jik}}{75\sigma \cdot v \cdot \sin \varphi}, \quad (2.7)$$

а також моделювати різний якісний склад автотранспортного потоку (без урахування фонові концентрації забруднюючої речовини).

2.2 Удосконалення математичної моделі для визначення інгредієнтного забруднення в зоні впливу автомобільної дороги

Вище зазначалося, що існуючі математичні моделі оцінки інгредієнтного забруднення автомобільної дороги не враховують параметри оточуючого середовища,

які суттєво впливають на розповсюдження забруднюючих речовин в зоні впливу автомобільної дороги.

Отримані дані розрахунків концентрації забруднюючих речовин (додаток А) були покладені за основу подальших теоретичних досліджень, метою яких стало удосконалення математичних рівнянь для визначення інгредієнтного забруднення залежно від кількості вантажних автомобілів та автобусів у складі транспортного потоку, а також швидкості вітру.

План-матриця для формулювання поліноміальних моделей записана для факторного експерименту 2^2 (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – План дослідження зміни концентрації забруднюючих речовин

№	План			
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂
1	+	—	—	+
2	+	+	—	—
3	+	—	+	—
4	+	+	+	+

Для задач дослідження використовувався поліном виду:

$$Y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2. \quad (2.8)$$

Коефіцієнти регресії поліному визначаються як:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u \cdot x_{i_u}, \quad (2.9)$$

де u – номер дослідження,

i – номер фактора.

В результаті проведених досліджень сформовано поліноміальні рівняння (табл. 2.2-2.4), в яких фактором q кодується відсоток вантажних автомобілів та автобусів у складі автотранспортного потоку; v – швидкість вітру.

Таблиця 2.2 – Математичні моделі для визначення інгредієнтного забруднення в зоні впливу автомобільної дороги при куті між напрямом вітру та її віссю $\varphi = 30^\circ$

Шкідлива речовина	Математична модель
Діоксид азоту NO ₂	$Y = 2,93 + 0,567q - 1,46v$
Діоксид сірки SO ₂	$Y = 0,345 + 0,09q - 0,173v$
Оксид азоту N ₂ O	$Y = 0,017 + 0,004q - 0,0087v$
Сажа	$Y = 0,48 + 0,15q - 0,24v$

Таблиця 2.3 – Математичні моделі для визначення інгредієнтного забруднення в зоні впливу автомобільної дороги при куті між напрямом вітру та її віссю $\varphi = 60^\circ$

Шкідлива речовина	Математична модель
Діоксид азоту NO ₂	$Y = 1,68 + 0,32q - 0,85v$
Діоксид сірки SO ₂	$Y = 0,19 + 0,05q - 0,098v$
Оксид азоту N ₂ O	$Y = 0,011 + 0,0023q - 0,0051v$
Сажа	$Y = 0,279 + 0,086q - 0,14v$

Таблиця 2.4 – Математичні моделі для визначення інгредієнтного забруднення в зоні впливу автомобільної дороги при куті між напрямом вітру та її віссю $\varphi = 90^\circ$

Шкідлива речовина	Математична модель
Діоксид азоту NO ₂	$Y = 1,46 + 0,283q - 0,732v$
Діоксид сірки SO ₂	$Y = 0,172 + 0,0447q - 0,086v$
Оксид азоту N ₂ O	$Y = 0,0087 + 0,002q - 0,0044v$
Сажа	$Y = 0,242 + 0,076q - 0,121v$

Отримані математичні залежності характеризують вплив складу автотранспортного потоку та параметрів зовнішнього середовища на інгредієнтне забруднення в зоні впливу автомобільної дороги, тому можуть застосовуватися при прогнозуванні

впливу автомобільної дороги на етапі будівництва, а також змінах в забудові території, прилеглої до дороги.

Аналіз коефіцієнтів отриманих математичних рівнянь (рис. 2.1 - 2.2) показав, що характер та ступінь впливу досліджуваних факторів на відгук не є однаковим, тобто фактори зовнішнього середовища, зокрема швидкість вітру, є більш вагомим у порівнянні із часткою вантажних автомобілів і автобусів у складі автотранспортного потоку. В умовах великих промислових міст із щільною забудовою магістральна вулиця утворює коридор, в якому накопичуються шкідливі речовини, що призводить до перевищення концентрацій забруднюючих речовин в житлових приміщеннях та на дитячих майданчиках, розташованих в сельбищній зоні.

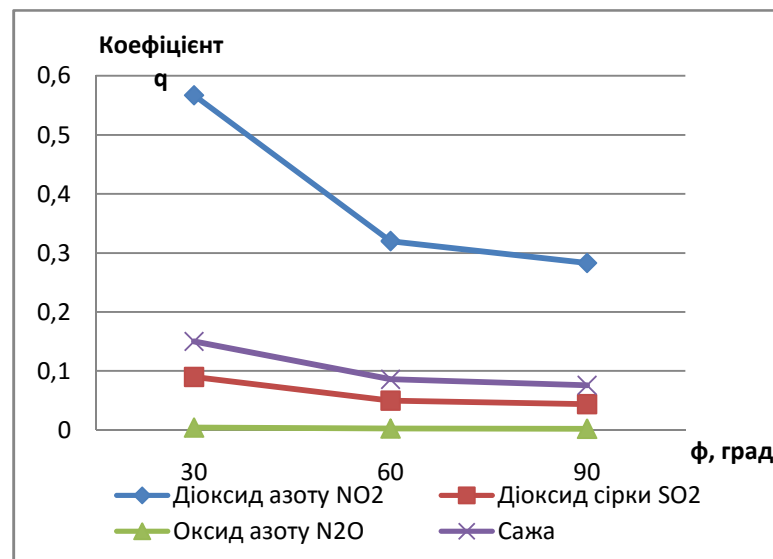


Рисунок 2.1 – Аналіз значимості коефіцієнту q поліноміальних моделей оцінки інгредієнтного забруднення

Таким чином, при узагальненні даних, отриманих з графічних залежностей, можна зробити висновок про те, що саме швидкість вітру в найбільшій мірі сприяє зниженню концентрації забруднюючих речовин на примігстральних територіях. Однак слід зазначити, що у випадку, якщо житлові будинки знаходяться з підвітряного боку, позитивне значення цього фактору втрачається.

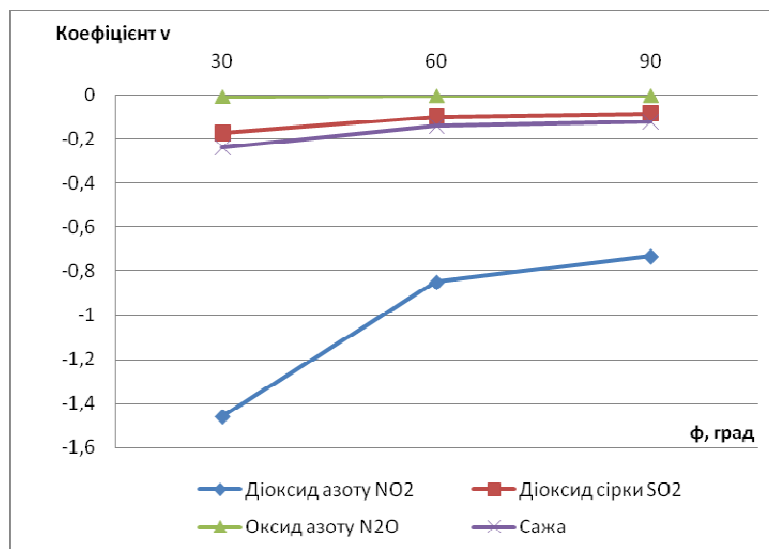


Рисунок 2.2 – Аналіз значимості коефіцієнту ν поліноміальних моделей оцінки інгредієнтного забруднення

Слід зауважити, що у великих промислових містах врахування рози вітрів не завжди відбувалося при будівництві житлової забудови, тому при обґрунтуванні необхідності й виборі захисних заходів від шкідливого впливу автомобільної дороги необхідно враховувати потребу в ефективних технічних рішеннях тих ділянок сільбищної зони, які знаходяться з підвітряного боку від дороги.

2.3 Удосконалення методу оцінки параметричного забруднення автомобільної дороги з урахуванням швидкості руху автомобілів

При моделюванні шумовипроміювання транспортного потоку в навколишнє середовище (зокрема, на досліджувані об'єкти) фактори, які так чи інакше впливають на рівень шуму, що генерується, в загальному вигляді можливо виразити як сукупність наступних підмножин [66]:

Характеристики транспортного потоку, які впливають на його шумовипроміювання, є наступними:

$$(b_1, b_2, b_3, b_4) \in B, \quad (2.10)$$

де b_1 – середня швидкість руху, км/год;

b_2 – інтенсивність руху, од./год;

b_3 – кількість вантажних автомобілів, автобусів та мотоциклів в транспортному потоці, %;

b_4 – кількість трамвайних вагонів, од./год;

Фактори зовнішнього середовища, які здійснюють вплив на поширення акустичних коливань від транспортного потоку в навколишнє середовище:

$$(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9) \in P, \quad (2.11)$$

де p_1 – стан дорожнього покриття, що характеризується загальною площиною ушкоджень на 1000 м², м²;

p_2 – шорсткість поверхні дорожнього покриття, мм;

p_3 – величина ухилу (підйому), %;

p_4 – загальна кількість смуг руху автомобільної дороги в обох напрямках, од.;

p_5 – висота бордюру проїзної частини, м;

p_6 – середня величина зниження рівня шуму зеленими насадженнями, дБ;

p_7 – відстань від автомобільної дороги до досліджуваного об'єкту, м;

p_8 – метеорологічні характеристики повітря.

Загальна функція відгуку має наступні складові:

$$(y_1, y_2) \in Y, \quad (2.12)$$

де y_1 – рівень звукового тиску шуму транспортного потоку, дБ;

y_2 – рівень звукового тиску шуму на території, що прилягає до об'єкту захисту, дБ.

Дані сукупності характеристик являють собою сукупність підмножин, які функціонують в різних площинах та мають в собі детерміновані та стохастичні компоненти.

Встановимо відповідність вхідних параметрів зазначеним функціям відгуку з урахуванням суттєвості їх вкладу в загальний процес шумовипромінювання [50-51]. Тоді в якості математичної моделі функціонування системи «транспортний потік – шум – навколишнє середовище» може бути записана сукупність відношень в наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= f(b_1, b_2, b_3, b_4, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5), \\ y_2 &= f(b_1, b_2, b_3, b_4, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8) \end{aligned} \right\} Y', \quad (2.13)$$

де Y' - загальна функція відгуку з урахуванням суттєвості впливу вхідних параметрів.

Згідно [67] до дорожніх транспортних засобів належать засоби, що призначені для експлуатації переважно на автомобільних дорогах загального користування усіх категорій і сконструйовані згідно з їхніми нормами. Класифікація дорожніх транспортних засобів за призначенням згідно [67] наведена на рис. 2.3.

Наведена класифікація наочно демонструє види транспортних засобів, що пересуваються вулицями міст, та мають різні рівні шуму, що випромінюється в навколишнє середовище.

Для більшості вулиць міста загального призначення найбільш поширеними видами дорожніх транспортних засобів є автомобіль (пасажирський та вантажний), автобус (незалежно від призначення), мікроавтобус, тролейбус, мотоцикл, мопед, автопоїзд. Причепи та напівпричепи не мають суттєвого значення в аспекті загального шумовипромінювання транспортного потоку, оскільки у своїй конструкції не містять джерела енергії.

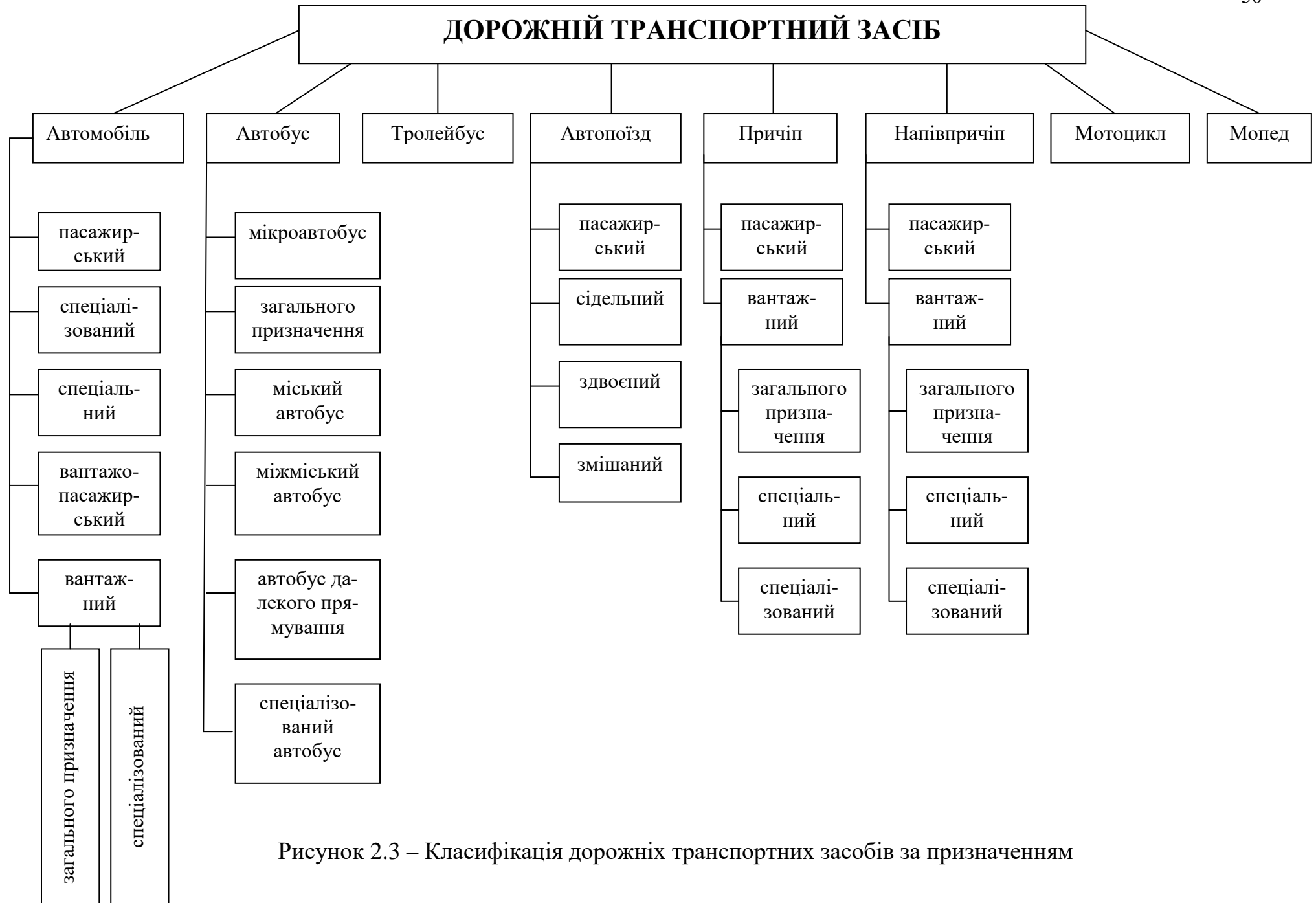


Рисунок 2.3 – Класифікація дорожніх транспортних засобів за призначенням

Таким чином, за допомогою стандарту [67] встановлено основних учасників дорожнього руху, що представляють інтерес в аспекті випромінювання шуму в навколишнє середовище. Слід зауважити, що даний стандарт не містить в своєму переліку тролейбусів, хоча вони є повноправними учасниками дорожнього руху на вулицях міста і також можуть бути пасажирськими та спеціалізованими, зчленованими та ін. Крім того, при проведенні дослідження впливу транспортного потоку на робочі місця та сельбищну зону необхідно враховувати наявність трамваю, який може рухатися як на відособленому шляху, так і разом з іншими учасниками дорожнього руху.

Отже, при проведенні досліджень шумовипромінювання транспортних потоків доцільно об'єднати транспортні засоби, що розглядаються, в групи з метою їх кількісної оцінки у потоці.

Ряд дослідників, наприклад Самойлюк Є.П. [51]), наводять орієнтовні значення шуму транспортних засобів, що випромінюється ними в навколишнє середовище (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 - Орієнтовні значення шуму транспортних засобів (за Є.П. Самойлюком [51])

Тип транспортного засобу	Рівень шуму, дБА
Легкові автомобілі	75 – 85
Вантажні дизельні автомобілі	92 – 100
Вантажні автомобілі з карбюраторним двигуном	82 – 86
Автобуси дизельні	90 – 96
Автобуси з карбюраторним двигуном	80 – 86
Тролейбуси	76 – 90
Трамваї	76 – 96
Мотоцикли	88 – 98
Мопеди	84 – 102

Слід зауважити, що наведені дані є приблизними, оскільки рівні шуму, який генерується транспортним засобом, залежить від його технічного стану та умов руху, а також характеристик дорожнього шляху. Також в наведеному вище переліку (табл. 2.5) не враховуються мікроавтобуси, які не були поширені за часів проведення досліджень, та набули розповсюдження в теперішній час.

Тому в аспекті дослідження шумовипромінювання транспортного потоку інтерес представляють наступні групи транспортних засобів:

- 1) легкові автомобілі та мікроавтобуси;
- 2) вантажні автомобілі та автопоїзди;
- 3) автобуси та тролейбуси;
- 4) мотоцикли та мопеди.

Окремо, як джерело транспортного шуму, розглядається трамвай.

На загальний шум транспортного потоку впливає наявність і кількість в ньому транспортних засобів, які є найбільш активними в аспекті генерування акустичних коливань: вантажних автомобілів, автобусів, трамваїв та мопедів.

Окрім того, при проведенні досліджень необхідно враховувати, що навіть легкові автомобілі можуть вважатися джерелом підвищеного шуму нарівні з, наприклад, мопедом, якщо його глушник обладнаний системою прямого викиду відпрацьованих газів (так званий «прямотік»). Зараз ця тенденція в переоснащенні легкових автомобілів набула значного розповсюдження, що значно погіршує загальний акустичний фон поблизу автомобільних доріг.

При встановленні залежностей між характеристиками транспортного потоку, його шумовипромінюванням та рівнем шуму на досліджуваних об'єктах усі вхідні параметри, крім динамічних характеристик транспортного потоку, є постійними. Виняток складають лише метеорологічні характеристики повітря, в яких основним чином на розповсюдження шуму від джерела впливає швидкість вітру та наявність опадів. Оскільки чинні нормативні документи, які регламентують проведення вимірювань рівнів шуму на відкритій місцевості (наприклад, [68]), обмежують значення швидкості вітру, за якої проводяться натурні вимірювання, до 5 м/с при відсутності

опадів, для цілей даних досліджень вклад вхідного параметру p_8 (ф-ла 2.13) можна вважати несуттєвим.

З іншого боку, кількість автомобілів, які проходять повздовж точки спостереження за одиницю часу визначається як [40]:

$$N = C \cdot V, \quad (2.14)$$

де C – щільність автомобільного потоку, яка характеризується кількістю автомобілів, які займають одиницю довжини смуги на дорозі в будь-який момент часу, прив. од./км;

V – середня швидкість руху автомобілів в потоці, км/год.

Для автомобільної дороги, яка має n смуг в обох напрямках зазначений вище вираз має наступний вигляд:

$$N = n \cdot C \cdot V. \quad (2.15)$$

У разі представлення автомобільної дороги як лінійного джерела акустичних коливань, розповсюдження шуму від нього в навколишній простір описується наступною залежністю [69]:

$$L_r = L_0 - 10 \lg \frac{r}{r_0}, \quad (2.16)$$

де L_0 – рівень звукового тиску на відстані r_0 , дБА;

r – відстань до об'єкту, що розглядається, м.

Представлення розповсюдження акустичних коливань від автомобільної дороги, як лінійного джерела, в навколишній простір, та враховуючи щільність автомобільного потоку, середню швидкість руху автомобіля та кількість смуг, отримуємо

формулу для визначення рівнів шуму на певній відстані від автомобільної дороги [52, 70]:

$$L = 72 + 10 \lg \frac{7,5 \cdot n \cdot C \cdot V}{1000r}. \quad (2.17)$$

При дослідженнях транспортних систем виділяють декілька видів середньої швидкості руху транспортного засобу, що характеризує особливості руху транспортного потоку [71-72]:

1) середня технічна швидкість – являє собою відношення шляху, який пройшов автомобіль, без урахування зупинок і стоянок, до часу, що витрачений на цей рух;

2) середня експлуатаційна швидкість – це швидкість, яка визначається як відношення пройденого шляху з урахуванням усіх зупинок і стоянок, до часу, витраченого на рух.

Однак, оскільки метою даного дослідження є визначення особливостей функціонування системи «транспортний потік – шум – навколишнє середовище» на макро-рівні, доцільним є ввести поняття середньозваженої швидкості руху транспортного потоку V_{cn} на певній довжині ділянки, яка визначається як [73]:

$$V_{cn} = \frac{\sum_{i=1}^4 V_{ci} \cdot N_i}{\sum_{i=1}^4 N_i}, \quad (2.18)$$

де V_{ci} – середня швидкість руху i -ї групи транспортних засобів, яка, у свою чергу, знаходиться з виразу

$$V_{ci} = \frac{3,6 \cdot S}{t_{ci}}, \quad (2.19)$$

де S – довжина ділянки дороги, що розглядається, м;

t_{ci} – середній час руху транспортних засобів i -ї групи по заданій ділянці автомобільної дороги, визначається як

$$t_{c_i} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_p}{p}, \quad (2.20)$$

де t_1, t_2, \dots, t_p – час проїзду окремими транспортними засобами певної групи ділянки автомобільної дороги довжиною S , с;

p – кількість вимірювань часу проходження окремими транспортними засобами певної групи ділянки автомобільної дороги довжиною S .

Враховуючи, що визначені вхідні параметри, що характеризують функціонування досліджуваної системи «транспортний потік – шум – навколишнє середовище», є змінними в часі, вираз (2.17) запишемо у вигляді

$$L(t) = 72 + 10 \lg \frac{7,5 \sum_{i=1}^4 N_i(t)}{1000r}, \quad (2.21)$$

та з урахуванням (2.15)

$$L(t) = 72 + 10 \lg \frac{7,5 \cdot n \cdot C(t) \cdot V_{cn}(t)}{1000r}. \quad (2.22)$$

Отримані математичні рівняння дозволяють визначати можливий рівень шуму в сельбищній зоні залежно від параметрів транспортного потоку. Обмеженням застосування цієї формули є наявність перешкод та складний рельєф місцевості, яка знаходиться поблизу автомобільної дороги.

2.4 Моделювання інгредієнтного забруднення придорожного простору населених пунктів

Теоретичне дослідження зміни концентрації шкідливих речовин, що формують автомобілі, в міру віддалення від автомобільної дороги по вул. Академіка Павлова (на ділянці від вул. Тимурівців до вул. Блюхера) м. Харкова проводилося для автотранспортних потоків двох видів: з переважною кількістю легкових автомобілів (76% легкових автомобілів, 19 % вантажних автомобілів, 5 % автобусів) та вантажних автомобілів й автобусів (22 % легкові автомобілі, 65 % вантажних автомобілів, 13 % автобусів) при різному куті φ між напрямом вітру та віссю дороги. Інтенсивність руху при цьому складала 1500-1900 од/год в обох напрямках руху.

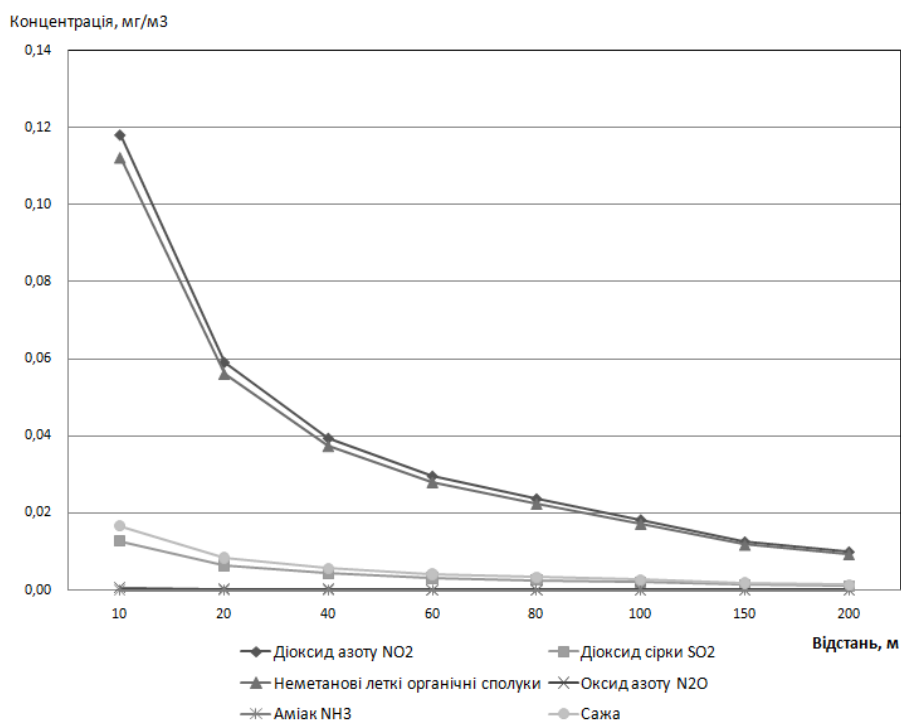


Рисунок 2.4 – Графічна залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються автотранспортним потоком з переважною кількістю легкових автомобілів, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 30^\circ$ при швидкості вітру 3 м/с

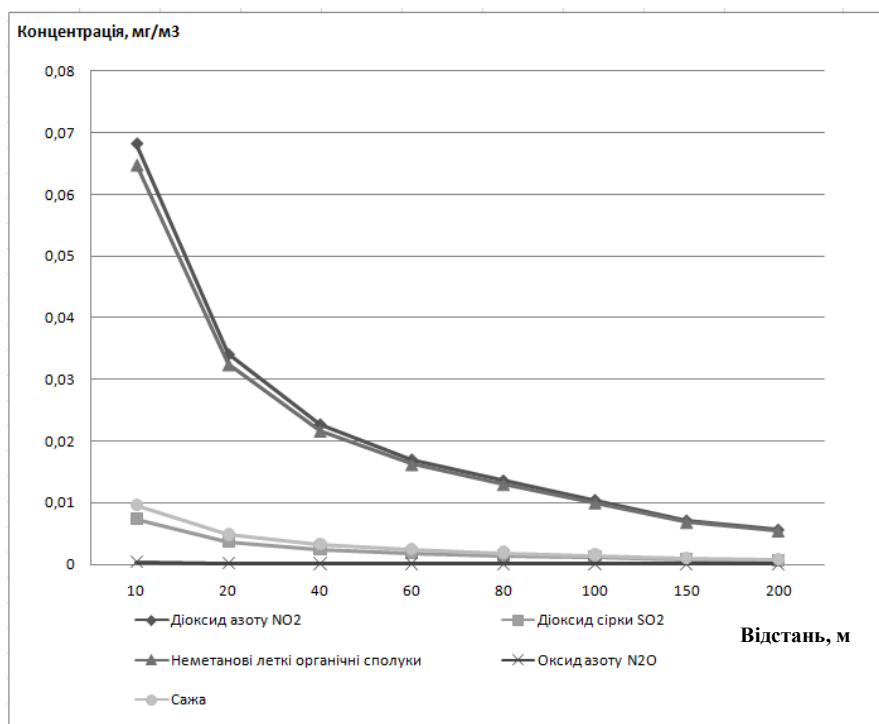


Рисунок 2.5 – Графічна залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються автотранспортним потоком з переважною кількістю легкових автомобілів, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 60^\circ$ при швидкості вітру 3 м/с

При цьому шляхом розрахунку визначалася концентрація наступних шкідливих речовин: діоксид азоту NO₂, діоксид сірки SO₂, неметанові леткі органічні сполуки (НЛОС), оксид азоту N₂O, аміак NH₃, сажа (рис. 2.4 – 2.6)

З отриманих даних можна зробити висновок, що при сталій швидкості вітру кут між його напрямом та віссю дороги впливає на відстань поширення забруднюючих речовин, причому збільшення величини кута призводить до зменшення розміру зони поширення шкідливих речовин. Також встановлено, що збільшення кількості вантажних транспортних засобів і автобусів майже в три з половиною рази призводить до зростання концентрації шкідливих речовин, що містяться у викидах відпрацьованого палива, поблизу автомобільної дороги в середньому на 35 %.

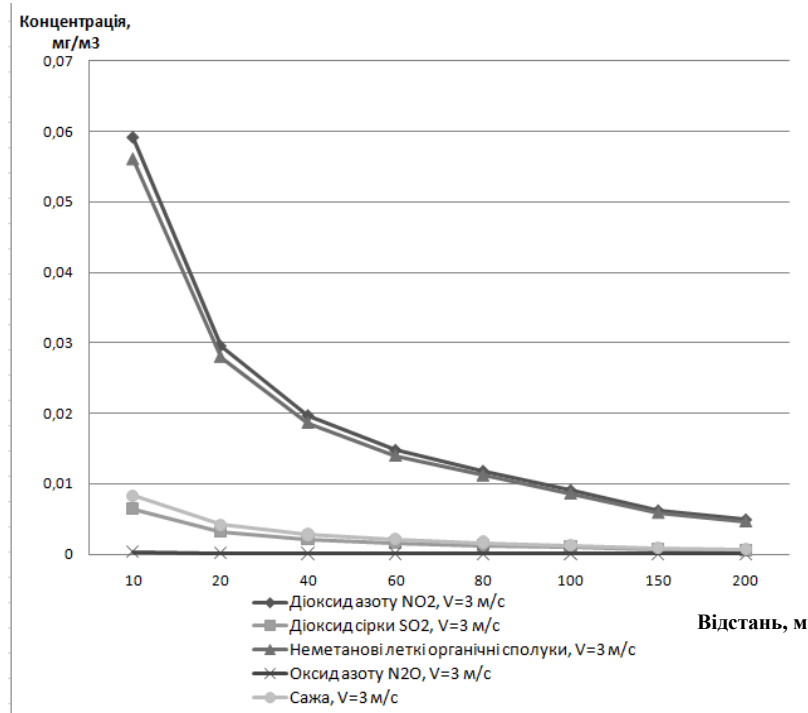


Рисунок 2.6 – Графічна залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються автотранспортним потоком з переважною кількістю легкових автомобілів, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 90^\circ$ при швидкості вітру 3 м/с

Аналогічним чином визначено концентрацію шкідливих речовин на різних відстанях від дороги при швидкості вітру 1 м/с та 2 м/с. Результати розрахунку для діоксиду азоту наведені в табл. 2.6 та рис. 2.7.

На розповсюдження шкідливих речовин в навколишньому середовищі також впливають швидкість та напрям вітру. Встановлено, що збільшення швидкості вітру та куту між напрямом вітру та віссю автомобільної дороги сприяє зменшенню концентрації шкідливих речовин на прилеглий території.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку зміни концентрації діоксиду азоту при віддаленні від проїзної частини

Відстань, м	Концентрація діоксиду азоту, мг/м ³ , при швидкості вітру v , м/с, та куті між напрямом вітру та віссю дороги φ , градуси								
	$v = 1$ м/с			$v = 2$ м/с			$v = 3$ м/с		
	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=60^\circ$	$\varphi=90^\circ$	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=60^\circ$	$\varphi=90^\circ$	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=60^\circ$	$\varphi=90^\circ$
10	0,355	0,205	0,173	0,177	0,102	0,089	0,118	0,068	0,059
20	0,177	0,102	0,085	0,089	0,051	0,044	0,059	0,034	0,030
40	0,118	0,068	0,055	0,059	0,034	0,030	0,039	0,023	0,020
60	0,089	0,051	0,040	0,044	0,026	0,022	0,030	0,017	0,015
80	0,071	0,041	0,031	0,035	0,020	0,018	0,024	0,014	0,012
100	0,055	0,031	0,023	0,027	0,016	0,014	0,018	0,010	0,009
150	0,037	0,022	0,015	0,019	0,011	0,009	0,012	0,007	0,006
200	0,030	0,017	0,011	0,015	0,009	0,007	0,010	0,006	0,005

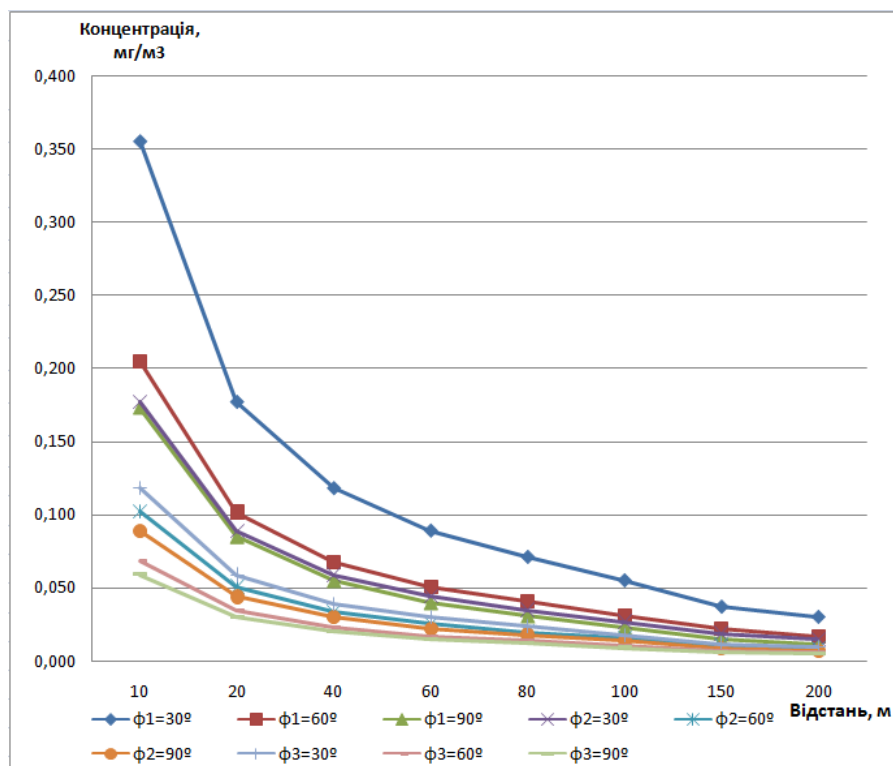


Рисунок 2.7 - Результати розрахунку зміни концентрації діоксиду азоту при віддаленні від проїзної частини: φ_1 , φ_2 , φ_3 – кути між напрямом вітру та поздовжньою віссю дороги при швидкості вітру відповідно 1, 2, 3 м/с

На рис. 2.7 видно, що найбільша концентрація діоксиду азоту спостерігається у випадку швидкості вітру, що дорівнює 1 м/с та куту між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 30^\circ$. Таким чином ці умови є найменш сприятливими в аспекті екологічного забруднення. Зменшенню концентрації поблизу автомобільної дороги сприятиме збільшення швидкості вітру та розміру кута між напрямом вітру та віссю дороги (до $\varphi = 90^\circ$). В рамках даного дослідження мінімальне значення концентрації діоксиду азоту за результатами розрахунків спостерігатиметься за наявності вітру швидкістю 3 м/с, напрям якого є перпендикулярним поздовжній осі автомобільної дороги.

З цього можна зробити висновок, що в умовах щільної висотної забудови складається несприятлива ситуація в аспекті інгредієнтного забруднення. Будівлі, які розташовані уздовж автомобільної дороги, перешкоджають руху повітря, що призводить до зростання концентрації небезпечних речовин. Слід зазначити, що в теперішній час в м. Харкові здійснюється забудова житловими будинками території, яка знаходиться на відстані 15 м від краю автомобільної дороги, причому житлові приміщення розташовані починаючи з першого поверху. Ця ситуація є дуже загрозливою для мешканців, оскільки в даному випадку відбувається сумація зовнішнього інгредієнтного забруднення із внутрішнім, джерелами якого є газові плити, оздоблювальні матеріали та меблі із штучних матеріалів.

За таких умов у мешканців можливе виникнення певних змін у стані здоров'я: алергічних захворювань, які можуть з часом ускладнитися у бронхіальну астму; онкологічних захворювань; змін в репродуктивній системі та ін.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку зміни концентрації діоксиду сірки при віддаленні від проїзної частини

Відс- тань, м	Концентрація діоксиду сірки, мг/м ³ , при швидкості вітру v , м/с, та куті між напрямом вітру та віссю автомобільної дороги φ , градуси								
	$v = 1$ м/с			$v = 2$ м/с			$v = 3$ м/с		
	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=60^\circ$	$\varphi=90^\circ$	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=60^\circ$	$\varphi=90^\circ$	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=60^\circ$	$\varphi=90^\circ$
10	0,03834	0,02214	0,01917	0,01917	0,01107	0,00959	0,01278	0,00738	0,00639
20	0,01917	0,01107	0,00959	0,00959	0,00553	0,00479	0,00639	0,00369	0,00320
40	0,01278	0,00738	0,00639	0,00639	0,00369	0,00320	0,00426	0,00246	0,00213
60	0,00959	0,00553	0,00479	0,00479	0,00277	0,00240	0,00320	0,00184	0,00160
80	0,00767	0,00443	0,00383	0,00383	0,00221	0,00192	0,00256	0,00148	0,00128
100	0,00590	0,00341	0,00295	0,00295	0,00170	0,00147	0,00197	0,00114	0,00098
150	0,00404	0,00233	0,00202	0,00202	0,00117	0,00101	0,00135	0,00078	0,00067
200	0,00320	0,00184	0,00160	0,00160	0,00092	0,00080	0,00107	0,00061	0,00053

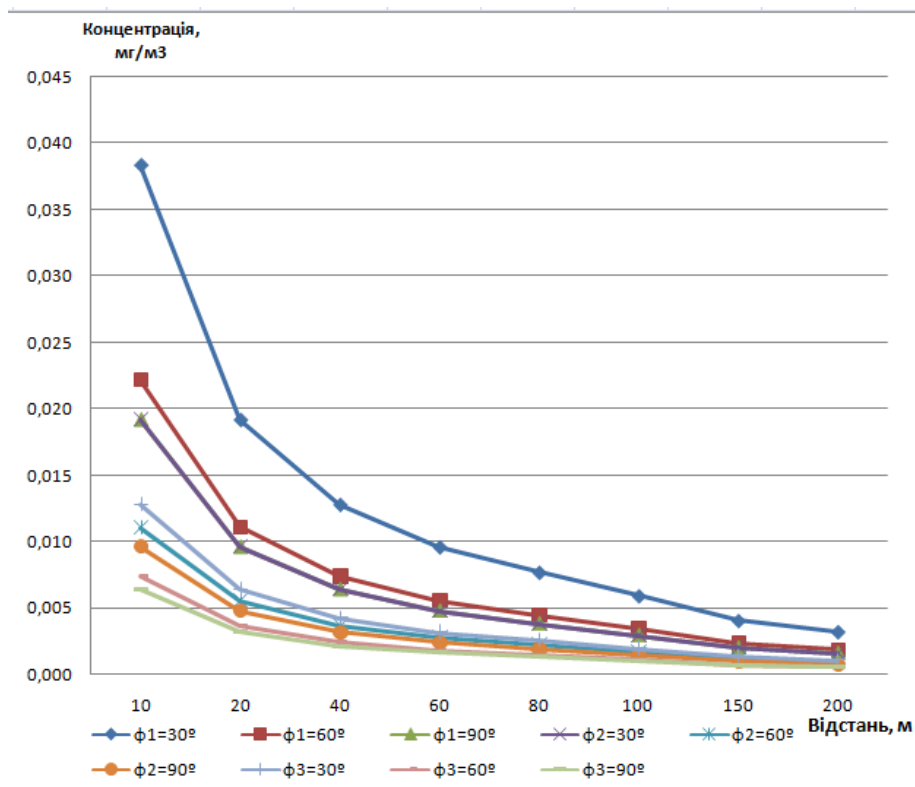


Рисунок 2.8 - Результати розрахунку зміни концентрації діоксиду сірки при віддаленні від проїзної частини: ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 – кути між напрямом вітру та поздовжньою віссю дороги при швидкості вітру відповідно 1, 2, 3 м/с

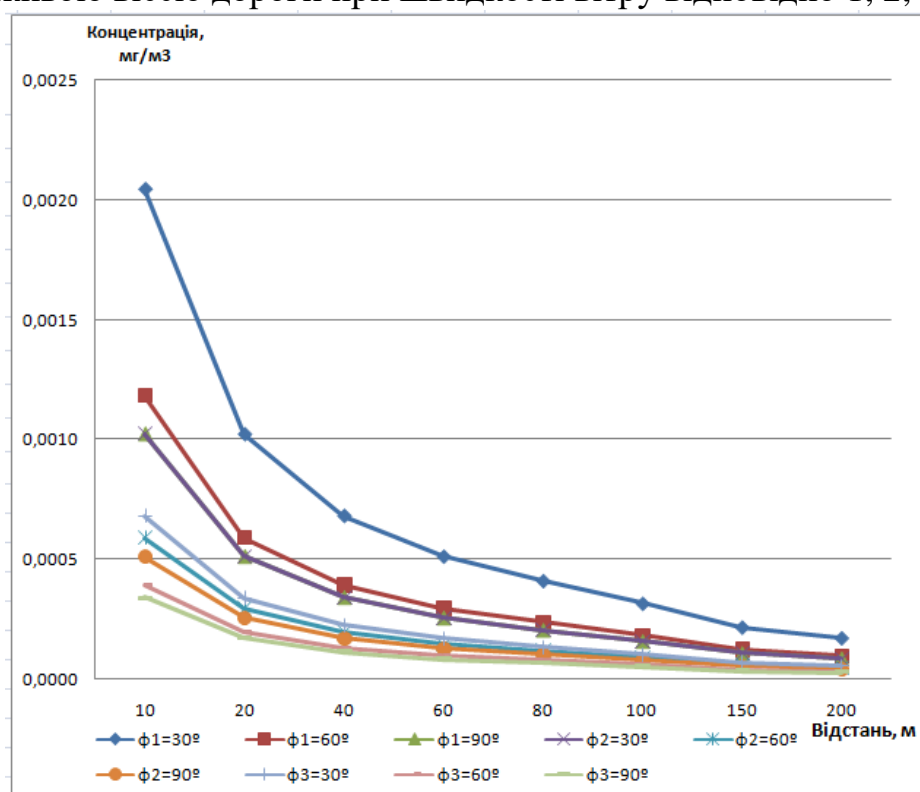


Рисунок 2.9 - Результати розрахунку зміни концентрації оксиду азоту при віддаленні від проїзної частини: ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 – кути між напрямом вітру та поздовжньою віссю дороги при швидкості вітру відповідно 1, 2, 3 м/с

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку зміни концентрації оксиду азоту при віддаленні від проїзної частини

Відс- тань, м	Концентрація оксиду азоту, мг/м ³ , при швидкості вітру v, м/с, та куті між напрямом вітру та віссю дороги φ, градуси								
	v = 1 м/с			v = 2 м/с			v = 3 м/с		
	φ=30°	φ=60°	φ=90°	φ=30°	φ=60°	φ=90°	φ=30°	φ=60°	φ=90°
10	0,002044	0,001180	0,001022	0,001022	0,000590	0,000511	0,000681	0,000393	0,000341
20	0,001022	0,000590	0,000511	0,000511	0,000295	0,000256	0,000341	0,000197	0,000170
40	0,000681	0,000393	0,000341	0,000341	0,000197	0,000170	0,000227	0,000131	0,000114
60	0,000511	0,000295	0,000256	0,000256	0,000148	0,000128	0,000170	0,000098	0,000085
80	0,000409	0,000236	0,000204	0,000204	0,000118	0,000102	0,000136	0,000079	0,000068
100	0,000315	0,000182	0,000157	0,000157	0,000091	0,000079	0,000105	0,000061	0,000052
150	0,000215	0,000124	0,000108	0,000108	0,000062	0,000054	0,000072	0,000041	0,000036
200	0,000170	0,000098	0,000085	0,000085	0,000049	0,000043	0,000057	0,000033	0,000028

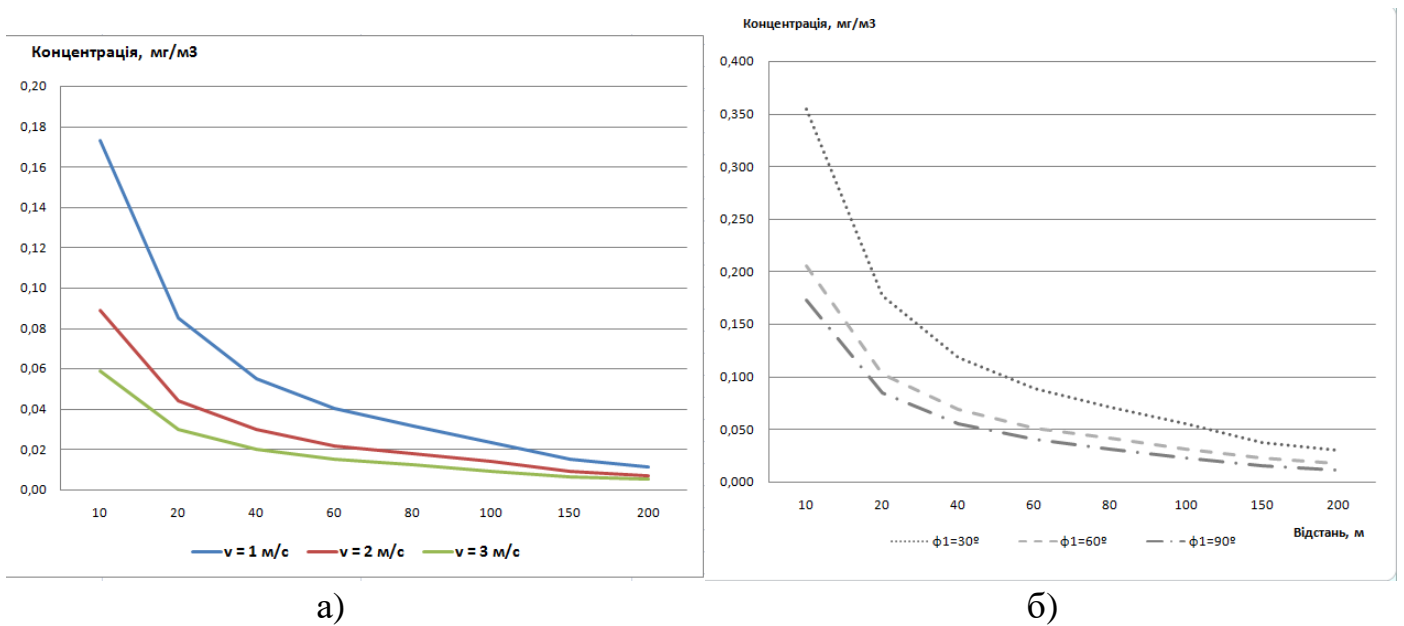


Рисунок 2.10 – Зміна концентрації діоксиду азоту біля автомобільної дороги залежно від: а) швидкості вітру; б) кута між напрямом вітру та віссю магістральної вулиці

Графіки, зображені на рис. 2.10, демонструють зміну концентрації шкідливих речовин на прикладі діоксиду азоту залежно від швидкості вітру та розміру кута між напрямом вітру та автомобільною дорогою. З них видно, що майже однакова концентрація діоксиду азоту утворюється при швидкості вітру 1 м/с та куті між напрямком вітру та автомобільною дорогою 30°. В подальшому перший фактор дає більш позитивний ефект в аспекті зниження концентрації шкідливої речовини, ніж другий.

Висновки

1. Інградієнтне забруднення зони впливу автомобільної дороги залежить від складу автотранспортного потоку та факторів навколишнього середовища, причому проведеними теоретичними дослідженнями встановлено, що вклад останнього, зокрема швидкість вітру в напрямку автомобільної дороги, є більш вагомим, у порівнянні із складом автотранспортного потоку.

2. Визначено, що при куті між напрямом вітру та віссю дороги, який дорівнює 90°, концентрація шкідливих речовин є мінімальною. Наявність щільної забудови на

вулицях мегаполісів призводить до утворенню так званого коридору, який обумовлює накопичення забруднюючих речовин, які містяться у викидах відпрацьованого палива, що несприятливо впливає на прилеглу сельбищну зону та може викликати погіршення самопочуття та підвищення рівнів захворюваності її мешканців.

3. Для оцінки інгредієнтного забруднення проведено розрахунок концентрації шкідливих речовин залежно від складу автотранспортного потоку та швидкості і напрямку вітру. Шляхом математичного моделювання забруднення навколишнього середовища автотранспортним потоком на ділянці 1 км визначено, що збільшення кількості вантажних транспортних засобів і автобусів майже в три з половиною рази призводить до зростання концентрації шкідливих речовин, що містяться у викидах відпрацьованого палива, поблизу автомобільної дороги в середньому на 35%.

4. Встановлено, що на ступінь забруднення повітряного середовища в зоні впливу автомобільної дороги в найбільшій мірі впливає швидкість вітру. Тому в умовах щільної міської забудови це призводить до накопичення забруднюючих речовин в повітрі, що підвищує екологічне навантаження автомобільної дороги на навколишнє середовище. Також слід враховувати, що у випадку, якщо напрям повітря спрямований на сельбищну зону, позитивного ефекту від зростання швидкості руху поблизу автомобільної дороги не відбуватиметься у зв'язку із посиленням переносу забруднюючих речовин до житлових помешкань. В такому випадку необхідно запровадження більш дієвих захисних заходів, які б перешкоджали потраплянню небезпечних речовин в сельбищну зону.

5. Теоретичне дослідження параметричного забруднення від автомобільної дороги здійснювалося за фактором акустичного забруднення. Встановлено, що при дослідженні параметричного впливу автомобільної дороги на сельбищну зону інтерес представляє функція відгуку у вигляді двох складових: рівня звукового тиску шуму транспортного потоку, дБ; та рівня звукового тиску шуму на території, що прилягає до об'єкту захисту, дБ.

Вхідні параметри, які впливають на функцію відгуку, згруповані за приналежністю підсистеми в загальній системі «транспортний потік – шум – навколишнє се-

редовище», з яких виділені ті, які в найбільшій мірі впливають на рівень шуму автомобільної дороги.

Представлення розповсюдження акустичних коливань від автомобільної дороги, як лінійного джерела, та врахування щільності автомобільного потоку, середньої швидкості руху автомобіля та кількості смуг, дозволило удосконалити математичну залежність для визначення рівнів шуму на певній відстані від автомобільної дороги.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНГРЕДІЄНТНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЗОНИ ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

3.1 Експериментальні дослідження рівнів інгредієнтного забруднення придорожнього простору населених пунктів

Метою проведення експериментальних досліджень є визначення рівнів інгредієнтного забруднення зони впливу автомобільної дороги при русі автотранспортних засобів.

Експериментальні дослідження здійснювалися переносним газоаналізатором ОКСИ 5М-4Н за діоксидом азоту NO_2 . Вибір саме цієї хімічної речовини для дослідження інгредієнтного забруднення засновано на рекомендаціях [49], де визначено, що даний показник достатньо повно характеризує стан інгредієнтного забруднення атмосферного повітря.

Тривалість відбору проб повітря для визначення разової концентрації NO_2 складала 20-25 хвилин на визначених ділянках автомобільних доріг (вул. Академіка Павлова (в районі вул. Пешкова), Салтівське Шосе (в районі 8 хлібзаводу), вул. Клочківська, вул. Гвардійців Широнінців (в районі буд. 51)). Вибір ділянок обумовлений прямолінійністю профілю та створенням умов для руху автомобілів із встановленою швидкістю. Також поблизу зазначених ділянок немає інших джерел викидів забруднюючих речовин, які могли б суттєво вплинути на результати експериментальних досліджень.

За результатами оцінки екологічної ситуації в м. Харкові в 2014 р. [74] що зазначені в звіті, середньорічна концентрація діоксиду азоту в місті становить $0,02 \text{ мг/м}^3$ при гранично допустимій нормі $0,04 \text{ мг/м}^3$. Максимальна концентрація перевищувала встановлений норматив в 2,9 рази. Індекс забруднення атмосфери діоксидом азоту в цілому по місту становить 0,61 (в 2013 р. – 0,62).

При проведенні вимірювань газозбірний пристрій розташовувався на висоті 1,5 м та був орієнтований в напрямку автомобільної дороги [75]. Виміри проводилися на

відстані 10 м від краю проїзної частини. При цьому здійснювався відеозапис автотранспортного потоку з метою подальшого визначення його складу.

При проведенні вимірювань паралельно вимірювалися швидкість атмосферного повітря V , м/с, та зазначався його напрям. У зв'язку із неможливістю в реальних умовах задати напрям вітру, експериментальні дані згруповані за цим критерієм у дві таблиці. Вимірювання здійснювалися влітку при температурі повітря 20-22 °С.

Результати вимірів концентрації діоксиду азоту наведено в табл. 3.1 - 3.2.

Таблиця 3.1 – Експериментальні дані щодо визначення концентрації діоксиду азоту в зоні впливу автомобільної дороги при переважному напрямі вітру, паралельному вісі автомобільної дороги

№ з/п	Вулиця	Швидкість вітру, м/с	Інтенсивність руху, авт./год	Відсоток вантажних автомобілів	Середня концентрація діоксиду азоту, мг/м ³
1	Салтівське Шосе	1	1570	29	0,24
2	Гвардійців Широнінців	3	1703	22	0,085

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані щодо визначення концентрації діоксиду азоту в зоні впливу автомобільної дороги при переважному напрямі вітру, перпендикулярному вісі автомобільної дороги

№ з/п	Вулиця	Швидкість вітру, м/с	Інтенсивність руху, авт./год	Відсоток вантажних автомобілів	Середня концентрація діоксиду азоту, мг/м ³
1	Академіка Павлова	3	1942	18	0,09
2	Клочківська	3	1614	12	0,065

Результати порівняння даних, отриманих при проведенні експерименту, із результатами розрахунків за формулами, приведеними в розділі 2, наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Порівняння експериментальних і розрахункових даних щодо визначення концентрації діоксиду азоту в зоні впливу автомобільної дороги

№ з/п	Вулиця	Концентрація діоксиду азоту, мг/м ³	Розрахункова концентрація діоксиду азоту, мг/м ³	Різниця, мг/м ³
1	Академіка Павлова	0,09	0,087	0,003
2	Салтівське Шосе	0,24	0,22	0,02
3	Клочківська	0,065	0,059	0,006
4	Гвардійців Широнінців	0,085	0,087	0,002

За отриманими даними можна зробити висновок, що сходиність результатів не перевищує 8 %, тобто отримані математичні залежності можуть бути використані для вирішення практичних завдань прогнозування стану атмосферного середовища в зоні впливу автомобільної дороги.

3.2 Організація і проведення експериментальних досліджень акустичного забруднення

Експериментальні дослідження є обов'язковою умовою забезпечення повноти наукових досліджень. При організації експериментальних досліджень транспортних потоків слід відмітити, що вони характеризуються наявністю значної кількості вихідних даних з неповною достовірністю, а також практичною неможливістю проведення експерименту в чистих умовах [76].

Оцінка шуму транспортних потоків здійснювалася на основі стандарту [68], котрий визначає, що шумовою характеристикою транспортних потоків є еквівалентний рівень звуку $L_{\text{Аекв}}$, дБА.

Даний стандарт [68] визначає умови проведення вимірювань шуму транспортних потоків, а саме: розташування місця проведення вимірювань на відстані не менше 50 м від перехресть, зупинок громадського транспорту в місцях зі сталою швидкістю руху; відсутність вологи чи бруду на поверхні доріг, що досліджуються; час проведення вимірювань повинен співпадати з максимальною інтенсивністю руху транспортного потоку; швидкість вітру під час проведення вимірювань не повинна перевищувати 5 м/с, при швидкості вітру 1-5 м/с необхідно застосовувати захисний ковпак на мікрофон.

Виміри проводилися на вулицях Академіка Павлова, Салтівське Шосе, Ключківська та Гвардійців Широнінців м. Харкова відстані 7,5 м від вісі смуги, що є ближчою до точки проведення вимірювань, на висоті 1,5 м від поверхні дороги чи головки рейки. При цьому мікрофон не розташовувався ближче 1 м до стіни будівель або інших споруд, що відбивають звук.

При проведенні вимірювань мікрофон був орієнтований у напрямку транспортного потоку. При цьому, оператор, що проводить вимірювання, повинен розміщатися на відстані не менш ніж 0,5 м від мікрофону.

Перемикач частотної характеристики повинний знаходитися в положенні «А».

Процес вимірювання шуму транспортного потоку, до складу якого входять різні види дорожніх транспортних засобів, здійснюватися не менш як для 200 транспортних одиниць в обох напрямках.

Одночасно з проведенням вимірювань шуму досліджувався сам транспортний потік, а саме: визначався його склад та інтенсивність руху.

Під час дослідження шуму, який випромінюється транспортними засобами при русі, важливо, щоб транспортний потік рухався із встановленою швидкістю. Тому із значної кількості об'єктів дослідження, які розглядалися як такі, де апріорі очікується значне шумове навантаження від автомобільної дороги, обрані ті, що знаходяться

на відстані не менш ніж 50 м від перехресть та світлофорів, зупиночних пунктів пасажирського транспорту та транспортних площ.

Вимірювання рівнів шуму проводилися шумоміром типу DT-8852 класу точності 2. Паралельно із замірами рівнів шуму транспортного потоку здійснювався відеозапис транспортного потоку, що дозволило отримати докладну інформацію стосовно його складу.

Результати експериментальних досліджень наведено в Додатку В (табл. В.1 – В.4).

Обробка експериментальних даних здійснювалася за методикою [68], яка передбачає визначення еквівалентних рівнів шуму на основі кількості відліків рівнів шуму по інтервалах.

В табл. 3.4 наведені результати експериментальних досліджень шумовипроміювання транспортних потоків на вулицях м. Харкова, на ділянках, умови яких задовольняли вимогам [68].

Таблиця 3.4 – Результати експериментальних досліджень шумовипроміювання автотранспортних потоків

Вулиця	N, авт /год	Частка числа відліків в даному інтервалі рівнів звуку, дБА, в сумарній кількості відліків, %								L _{Аекв} дБА
		48-52	53-57	58-62	63-67	68-72	73-77	78-82	83-87	
Академіка Павлова	1942	0	2,23	11,38	34,15	36,99	14,84	0,41	0	70
Салтівське Шосе	1570	2,16	6,08	8,24	10,59	34,9	33,53	4,31	0,19	73
Ключківська	1614	0,9	2,2	13,1	34,4	36,3	12,2	0,9	0	69
Гвардійців Широнінців	1703	2,4	8,2	10,8	11,2	30,9	32,3	3,5	0,7	72

З наведених експериментальних видно, що немає прямої залежності еквівалентного рівня шуму від інтенсивності руху транспортних засобів по автомобільній дорозі.

3.3 Експериментальні дослідження рівнів шуму окремих груп автотранспортних засобів

В результаті проведених натурних вимірювань отримані експериментальні дані стосовно рівнів шуму транспортного потоку взагалі та вкладу окремих транспортних засобів та їх комбінацій.

Отримані експериментальні дані згруповані за наступними групами:

- легковий автомобіль;
- мікроавтобус;
- автобус;
- вантажний автомобіль.

В рамках кожної групи здійснено ранжування. У зв'язку із значною кількістю експериментальних даних, ряд ранжування будувався згідно правила Стерджесу [77]:

$$r = 1 + 3,3 \lg n, \quad (3.1)$$

де r – кількість інтервалів ранжування;

n – об'єм спостереження.

Для одиночних легкових автомобілів після проведення натурального обстеження, наприклад, по вул. Академіка Павлова в м. Харків отримано 188 значень рівнів шуму, тобто $r = 8$.

Ширина інтервалу дорівнює

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{r} = \frac{79,6 - 51,8}{8} = 3,5 \quad (3.2)$$

Визначимо значення частоти p_i , накопиченої частоти та статистичної функції розподілення:

$$p_i = \frac{m_j}{n}, \quad (3.3)$$

де m_j – частота появи значень в певному інтервалі

Результати розрахунків наведені в табл. 3.5

Таблиця 3.5 – Інтервальний статистичний ряд шумовипромінювання одиночного легкового автомобіля

Номер інтервального ряду j	Межа інтервалу $x_j - x_{j+1}$	Частота m_j	Частість p_i	Накопичена частота $m_j^{\text{нак}}$	Статистична функція розподілення F_n
1	51,8 – 54,8	4	0,02	2	0,02
2	55,5 – 57,9	2	0,01	3	0,03
3	59,7 – 62,2	5	0,03	6	0,06
4	62,4 – 65,7	25	0,13	19	0,19
5	65,8 – 69,1	35	0,19	38	0,38
6	69,3 – 72,7	55	0,29	67	0,67
7	72,8 – 76,1	53	0,28	95	0,95
8	76,3 – 79,6	9	0,05	100	1,00

За даними табл. 3.5 побудовано гістограму частоти (рис. 3.1)

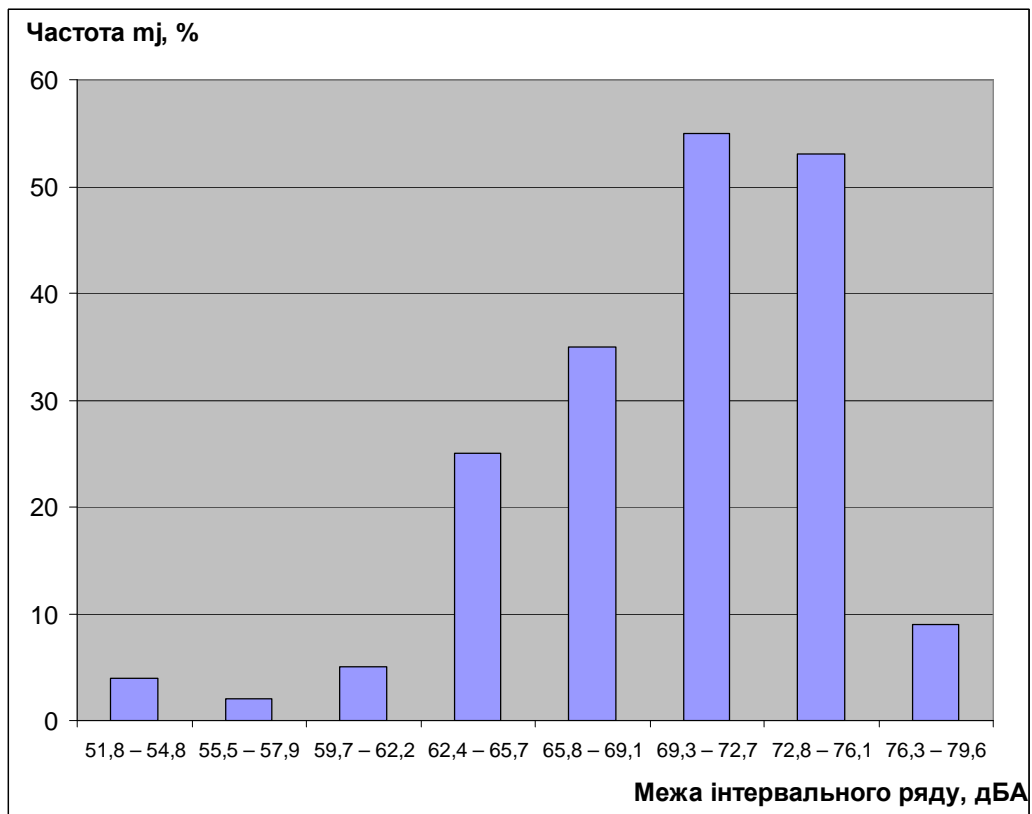


Рисунок 3.1 – Гістограма розподілу частоти рівнів шуму по інтервальних рядах для одиночного легкового автомобіля

Дана гістограма показує, що необхідно виключити похибки із отриманих експериментальних даних. Обробка даних здійснюється за допомогою статистичного критерію Граббсу. Проведемо розрахунок критеріїв Граббсу за формулами:

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{S_1} \text{ та } G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{\min}|}{S_1}, \quad (3.4)$$

де S – середнє квадратичне відхилення даних натурних спостережень, яке визначається як

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3.5)$$

де x_i – результат i -го спостереження;

\bar{x} – середнє арифметичне значення вимірюваних рівнів шуму;

n – кількість результатів вимірювань.

Таким чином, для масиву результатів вимірів рівнів шуму при проходженні одиночного легкового автомобіля поздовж мікрофону шумоміру $S_1 = 4,99$. Тоді

$$G_1 = \frac{|79,6 - 69,9|}{4,99} = 1,94 \text{ та } G_2 = \frac{|69,9 - 51,8|}{4,99} = 3,63.$$

Теоретичне значення критерію Граббсу G_T при рівні значимості 5% становить 3,59. При порівнянні отриманих значень G_1 та G_2 із G_T можна зробити висновок, що, оскільки $G_2 > G_T$, мінімальне значення виключається, як малоймовірне.

Подальша статистична обробка експериментальних даних здійснювалася за стандартною схемою відповідно до вимог [78].

Оцінка середнього квадратичного відхилення результату вимірювання визначається як

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (3.6)$$

Перевірка приналежності результатів спостережень нормальному закону розподілення здійснювалася за критерієм Пірсона, який придатний для згрупованих спостережень обсягом більше 50 і визначається як

$$\chi^2 = \sum_1^l \chi_i^2 = \sum_1^l \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (3.7)$$

де m_i – кількість результатів вимірювання інтервалу;

l – кількість інтервалів.

Значення t_i визначається за формулою

$$t_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S}. \quad (3.8)$$

Вірогідність нормального розподілення $\Phi(t_i)$ визначалася за формулою:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (3.9)$$

Результати розрахунку наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Етапи розрахунку межі критичної області χ^2

Номер інтервального ряду	m_i	t_i	$\Phi(t_i)$	p_i	$m_i - np_i$	$(m_i - np_i)^2/n$
1	23	-1,052	-0,3531	0,1702	-8,827	0,417
2	23	-0,72	-0,2642	0,0889	6,376	0,217
3	23	-0,201	-0,0793	0,1849	-11,58	0,717
4	24	0,172	0,0675	0,1468	-3,452	0,0637
5	24	0,483	0,1844	0,1169	2,14	0,0245
6	24	0,712	0,2611	0,0767	9,657	0,499
7	23	0,981	0,3365	0,0754	8,9	0,424
8	23	1,998	0,4767	0,1402	-3,217	0,0553

За результатами проведених розрахунків $\chi^2 = 2,42$. При порівнянні цього значення із критичним значенням при кількості ступенів волі $k=8-3=5$, можна зробити висновок про нормальність розподілення при рівні значимості $q = 2-10\%$.

Довірчі границі випадкової похибки результату вимірювання визначаються за формулою

$$\varepsilon = t_1 \cdot S, \quad (3.10)$$

де t_1 – коефіцієнт Ст'юдента, який при довірчій ймовірності $P=0,95$ становить 1,96.

$$\varepsilon = 1,96 \cdot 4,82 = 9,45.$$

Границі невиключеної систематичної похибки θ результату вимірювання за умови підтвердження гіпотези про нормальне розподілення визначаються як

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^b \theta_i^2}, \quad (3.11)$$

де k – коефіцієнт, який визначається довірчою ймовірністю, при $P=0,95$, $k=1,1$;

θ_i – границя i -й невиключеної систематичної похибки.

Похибка приладу згідно технічної документації складає $\pm 1,4$ дБ, тому $\theta = 1,54$.

Оскільки відношення $\frac{\theta}{S} = 0,31 < 0,8$, результат вимірювань враховує випадкову похибку, тобто кінцевий результат запишемо у вигляді $69,97 \pm 9,45$ дБА, 0,95. Аналогічним чином оброблювалися усі експериментальні дані, отримані шляхом натурних досліджень.

В табл. 3.7 наведено результати вимірювань шуму транспортних засобів в потоці.

За експериментальними значеннями середніх рівнів шуму легкових автомобілів методом найменших квадратів створено поліноміальну модель

$$y = 0,5725x^2 - 1,4415x + 70,823, \quad (3.12)$$

де x – кількість легкових автомобілів, що проходять повз спостерігача одночасно.

Таблиця 3.7 – Середні рівні шумовипромінювання транспортних засобів, що рухаються в потоці, за результатами експерименту

№ з/п	Тип та кількість транспортних засобів	Середній рівень шуму, дБА
1	Легковий автомобіль	69,97
2	Мікроавтобус	71,75
3	Автобус	72,5
4	Вантажний автомобіль	72,36
5	Мотоцикл	70,4

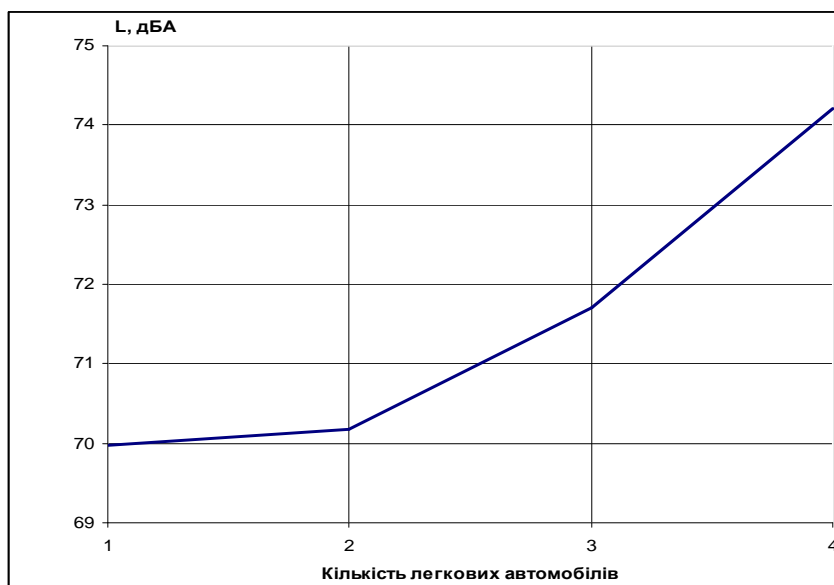


Рисунок 3.2 – Залежність середніх значень рівнів шуму легкових автомобілів в потоці залежно від їх кількості на лінії спостереження

Аналіз даних, наведених в табл. 3.6, показав, що по-перше, вони суттєво відрізняються від тих, що отримані Є.П. Самойлюком та П.І. Поспеловим, оскільки за часів проведення вимірювань цими авторитетними дослідниками суттєво змінився кількісний та якісний склад транспортного потоку, та, по-друге, можна зробити висновок про недоцільність дрібного групування транспортних засобів за типами, як

передбачалося раніше. Тому, для умов дослідження було прийнято рішення про групування транспортних засобів, які є учасниками дорожнього руху в потоці, за двома напрямками: легкові автомобілі та інші колісні транспортні засоби. При цьому міський електричний транспорт не брався до уваги.

Крім того, аналіз отриманих експериментальних даних показав, що формування математичної залежності можливих рівнів шуму залежно лише від загальної інтенсивності транспортного потоку не дозволяє отримати адекватну математичну модель. Це пов'язано з тим, що в умовах великого міста із інтенсивним рухом на автомобільних дорогах саме частка транспортних засобів з рівнями шуму, більшими за шум легкового автомобіля, впливає на загальний рівень шуму транспортного потоку. Тому, з урахуванням цього, експериментальні дані оброблені таким чином, щоб виділити частку легкових автомобілів із загального транспортного потоку.

З метою відтворення вкладу так званих «гучних» транспортних засобів в загальний процес шумовипромінювання, пропонується введення в математичну залежність (1.13) коефіцієнту B , значення якого варіюється залежно від вкладу інших транспортних засобів (крім легкових) в загальний шум транспортного потоку.

Таким чином, експериментальна залежність еквівалентного рівня шуму транспортного потоку від інтенсивності руху транспортних засобів двох типів: легкові та інші, має вигляд

$$L = 67 + \lg(N_n + B \cdot N_i), \quad (3.13)$$

де N_n – інтенсивність руху легкових автомобілів;

N_i – інтенсивність руху інших транспортних засобів;

B – поправочний коефіцієнт, який враховує вклад транспортних засобів з більшим рівнем шуму в загальний рівень шуму транспортного потоку.

Коефіцієнт B визначається наступним чином:

$B = 1$ – при розмірі частки «гучних» автомобілів в транспортному потоці $q < 10\%$;

$B = q^2$ – при $q \leq 20\%$;

$$B = q^3 - \text{при } q \leq 30 \%$$

Дана математична залежність є достатньо простою та дозволяє зробити прогноз можливого рівня шуму від транспортного потоку на основі значень інтенсивності руху та доли легкових автомобілів в потоці.

В табл. 3.8 здійснено порівняння експериментальних даних та розрахункових даних за формулою 3.13.

Таблиця 3.8 – Порівняння експериментальних та розрахункових даних рівнів шуму транспортних потоків

Назва вулиці	Загальна інтенсивність руху	Частка легкових автомобілів, %	Експериментальне значення рівня шуму транспортного потоку, дБА	Розрахункове значення шуму транспортного потоку, дБА	Різниця, дБА
Академіка Павлова	1942	82	70	71,1	+1,1
Салтівське Шосе	1570	71	73	73,2	+0,2
Клочківська	1614	88	69	70,4	+1,4
Гвардійців Широнінців	1703	78	72	72,6	+0,6

Вираз (3.13) придатний для прогнозування можливого рівня шуму на території, прилеглої до автомобільної дороги. При цьому транспортний потік представляється як лінійне джерело руху, тобто прямою лінією нескінченної довжини. На відміну від точкових джерел, які розповсюджують акустичні коливання в навколишнє середовище у вигляді сферичних хвиль, лінійне джерело випромінює в навколишнє середовище шум у вигляді циліндричних хвиль.

При експериментальних дослідженнях шумовипромінювання транспортного потоку згідно із [68] вимірювання шумової характеристики здійснюється на відстані 7,5 м від вісі смуги, яка є найближчою до точки проведення вимірювань.

$$L_{\tau} = 67 + \lg(N_n + B \cdot N_i) - 10 \lg \frac{r}{7,5} \quad (3.14)$$

Суттєвими перевагами виразів 3.13, 3.14 є те, що вони дозволяють з достатньою точністю отримати орієнтовні рівні шуму лише за даними якісного складу та інтенсивності транспортного потоку.

Висновки

1. Експериментальні дослідження інгредієнтно-параметричного забруднення дозволяють отримати інформацію про стан повітряного середовища поблизу автомобільних доріг із різним складом автотранспортного потоку та інтенсивністю руху.

2. Дослідження інгредієнтного забруднення повітряного середовища проведено за допомогою газоаналізатора ОКСИ 5М-4Н за діоксидом азоту NO_2 . Обрання саме цієї речовини обумовлено її репрезентативними властивостями щодо характеристики стану повітряного середовища за фактором інгредієнтного забруднення. Порівняння отриманих експериментальних даних із розрахунковими даними показало, що схожимість результатів не перевищує 8 %.

3. Проведено виміри рівнів параметричного забруднення, в результаті якого отримано дані акустичного впливу транспортних потоків різної інтенсивності на навколишнє середовище, які стали основою формування математичних залежностей для прогнозування можливих рівнів шуму. Досліджено шумовипромінювання одиночних автомобілів та їх поєднань в потоці, отримано орієнтовні рівні шуму різних типів транспортних засобів.

4. За експериментальними значеннями середніх рівнів шуму легкових автомобілів, які проходять повз спостерігача із встановленою швидкістю, залежно від їх кі-

лькості, отримано математичну модель, яка дозволяє визначити рівні шуму одиночного легкового автомобіля залежно від їх кількості.

5. Отримано математичні залежності для визначення можливих рівнів шуму безпосередньо транспортного потоку та на певній відстані від нього за рахунок представлення автомобільної дороги як лінійного джерела руху. Суттєвими перевагами отриманих математичних залежностей є те, що вони дозволяють з достатньою точністю (близько 3 %) отримати значення рівнів шуму лише за даними інтенсивності транспортного потоку при встановленій швидкості руху.

Це дозволяє застосовувати дані рівняння для прогнозування можливих рівнів транспортного шуму при будівництві нових або реконструкції існуючих автомобільних доріг.

РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНЖЕНЕРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЗАХИСТУ СЕЛЬБИЩНОЇ ТЕРИТОРІЇ ВІД ІНГРЕДІЄНТНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

4.1 Аналіз методів розрахунку захисних властивостей захисних екранів

В умовах архітектурної забудови великих промислових міст, що вже склалася, найбільш перспективним та ефективним заходом по обмеженню шкідливого впливу транспортного шуму на робочі місця та сельбищну зону є впровадження захисних інженерних споруд [79-81].

При поширенні акустичних коливань від транспортного потоку в навколишнє середовище кінцевий рівень звуку на об'єкті, що захищається, залежить від низки фізичних (хвильових) явищ, зокрема інтерференції акустичних коливань, їх поглинання, дифракційних явищ та ін. Ці аспекти необхідно враховувати при визначенні ефективності захисних екранів.

В той же час, ефективність шумозахисних екранів залежить від низки факторів не хвильового характеру, основними з яких є:

- 1) геометричні параметри, форма та матеріал, з якого виготовлено екран;
- 2) наявність звукопоглинаючої обробки на робочій поверхні захисного екрану;
- 3) наявність екрануючих пристроїв, з протилежного боку автомобільної дороги;
- 4) площа отворів та нещільностей в конструкції;
- 5) розташування та розміри об'єкту, що захищається та ін.

Геометричні параметри та форма суттєво впливають на ступінь ослаблення шуму, оскільки обумовлюють розміри зони акустичної тіні, яка утворюється за захисною спорудою. Наявність дифракційних явищ обумовлює зниження ефективності екрануючої конструкції та зменшення зони акустичної тіні, тому зараз при проектуванні шумозахисних екранів їх виконують складної геометричної форми із козирками та загнутими краями. Це дозволяє з одного боку перешкоджати потраплянню акустичних хвиль за екран, з іншого боку – дає змогу підвищувати ефективність відносно невеликих по висоті конструкцій [82].

Наявність звукопоглинаючого матеріалу на робочій поверхні захисного екрану дозволяє зменшити відбиття звукових хвиль від нього, тим самим попереджаючи збільшення рівнів шуму з протилежного боку у випадку однобічного розміщення шумозахисної споруди.

У випадку розміщення захисних інженерних конструкцій по обидва боки від автомобільної дороги можливим є посилення рівнів шуму завдяки багаторазовому відбиттю звукових хвиль від поверхні конструкції, тому цей факт треба враховувати при проектуванні двобічного шумозахисту навколишнього середовища від транспортного шуму.

Наявність нещільностей в конструкції захисних екранів значно зменшує їх ефективність, оскільки дозволяє звуковим хвилям проникати у зону, що захищається. При цьому вважається, що отвір розміром до 20 см знижує ефективність екрану на 1 дБА [82].

У випадку, якщо довжина чи висота захисної інженерної споруди за умовами розташування не достатні для створення ефективного захисту прилеглої території та об'єктів, які на ній розташовані, доцільним є улаштування екрану Т- Г- V- чи Y-образного профілю, конструкція яких дозволяє досягти зниження шуму, аналогічне плоскому екрану, за менших розмірів.

Для проведення теоретичних розрахунків орієнтовної шумозахисної ефективності захисних інженерних споруд використовуються наступні методи:

- 1) геометричний, який заснований на визначенні розмірів акустичної тіні за напівбезкінечною перешкодою;
- 2) строгі методи (отримані Зоммерфельдом та Макдональдом), засновані на визначенні дифракції звуку на екрані;
- 3) метод часткових областей та ін.

В основу геометричного методу покладено представлення хвильового поля у вигляді суми полів від променів, які не залежать від довжини хвилі. Основу геометричного методу визначення ефективності екрануючої стінки наведено в [81], де орієнтовне зниження шуму рекомендується визначати залежно від різниці довжини шляху проходження звукового променя δ (м) при визначеній висоті екрану.

Різницю довжини шляху визначають за (4.1) відповідно до схеми (рис. 4.1).

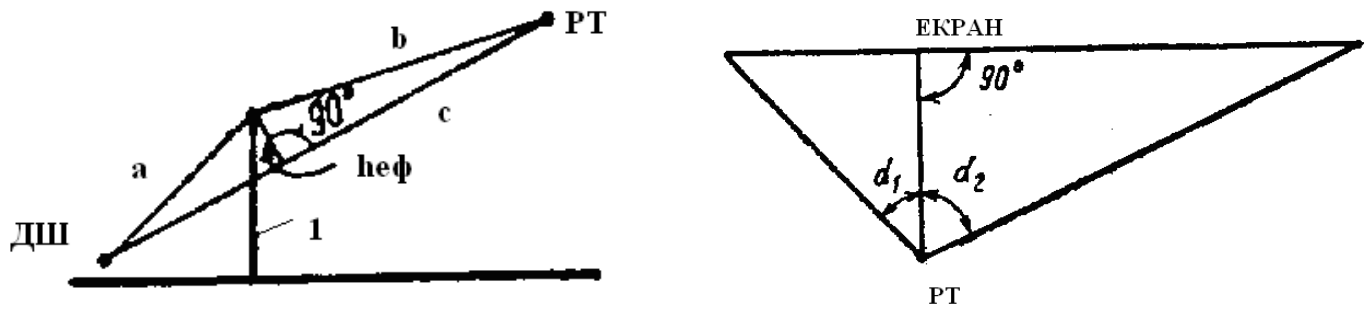


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема для визначення зниження рівня шуму захисною інженерною конструкцією: 1 – екран; ДШ – джерело шуму; РТ – розрахункова точка; $h_{эф}$ – ефективна висота екрану

$$\delta = (a + b) - c, \quad (4.1)$$

де a – найкоротша відстань між геометричним центром джерела шуму та верхньою кромкою екрану, м;

b – найкоротша відстань між розрахунковою точкою та верхньою кромкою екрану, м;

c – найкоротша відстань між геометричним центром джерела шуму та розрахунковою точкою, м.

Величина зниження шуму захисною інженерною конструкцією визначається згідно [81] залежно від кутів α_1 та α_2 (рис. 4.1).

Таким чином, геометричний метод оцінки ефективності захисних екранів є достатньо простим та дає задовільні результати у випадку, якщо дифракційними явищами можливо знехтувати.

При оцінці частотного спектру транспортного шуму дослідниками зроблений висновок, що найбільш активними частотами в аспекті шумовипромінювання є низько- та середньочастотний діапазон (31,5 – 1000 Гц) [50, 83]. Таким чином, за виразом можливо визначити діапазон довжини звукової хвилі, яка відповідає даним частотам:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (4.2)$$

де c – швидкість поширення акустичних коливань в повітрі, дорівнює 343 м/с;
 f – частота коливань, Гц.

Таким чином, для частоти 31,5 Гц довжина акустичної хвилі становить близько 11 м, а для частоти 1000 Гц – 0,3 м. Тому для середньочастотного діапазону шуму геометричний метод оцінювання ефективності захисної властивості екрану дає результати недостатньої точності у зв'язку з неврахуванням явищ дифракції.

Для детального визначення дифракційного поля застосовується метод часткових областей [84], в основу якого покладено представлення захисної інженерної споруди як нескінченного акустично жорсткого тонкого екрану, який сприймає коливання від нескінченної пульсуючої нитки, яка моделює шумовипромінювання транспортного потоку. Тоді утворюються три часткові області поширення акустичних хвиль (рис. 4.2):

I – простір у формі півкола, радіус якого дорівнює висоті екрану;

II – простір, що дорівнює половині півкола, яка відокремлена екраном з боку джерела шуму;

III – простір, що дорівнює половині півкола, яка відокремлена екраном з боку звукової тіні.

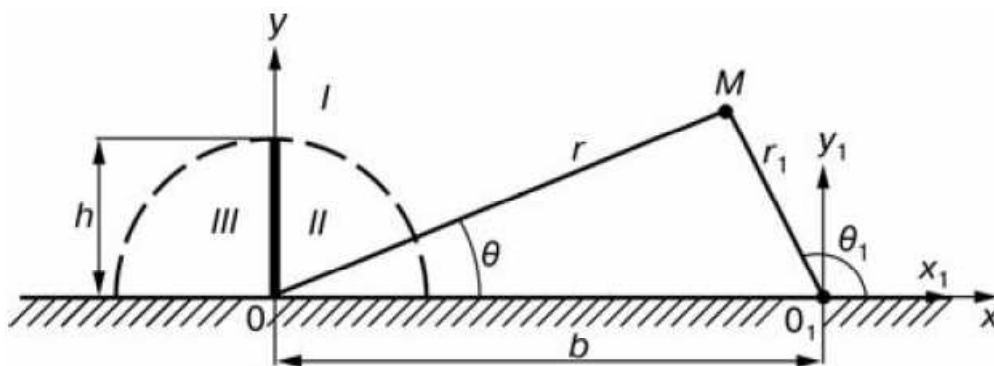


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема методу часткових областей [84]:

M – точка спостереження; O – точка встановлення акустичного екрану;

O_1 – центр лінійного гармонічного джерела шуму; h – висота екрану;

b - відстань від екрану до джерела шуму

В розглянутій розрахунковій схемі встановлено, що

- для області I: $r > h$ та $0 \leq \theta \leq \pi$;
- для області II: $r < h$ та $0 \leq \theta \leq \pi/2$;
- для області III: $r < h$ та $\pi/2 \leq \theta \leq \pi$.

У випадку, якщо центр джерела шуму знаходиться на відстані, більшій ніж висота захисного екрану, вважається, що джерело знаходиться в області I, якщо навпаки – то в області II.

Звуковий тиск лінійного джерела одиничної амплітуди можливо виразити за допомогою функції Ханкеля першого роду (для хвиль, що розходяться) [84]:

$$p_o = H_0^{(1)}(kr_1), \quad (4.3)$$

де k – хвильове число ($k = \omega/c$); $\omega = 2\pi f$.

Таким чином, для кожної часткової області згідно цього методу знаходяться часткові рішення звукового тиску, що задовольняють граничним умовам нерозривності звукового поля.

Перевагою даного методу є отримання даних щодо захисних властивостей захисних інженерних конструкцій для широкого діапазону частот та різного розташування джерела шуму відносно захисного екрану. Недоліком методу є значна трудомісткість розрахунків, що робить майже неможливим його застосування на практиці.

Орієнтовний метод оцінки ефективності захисних інженерних споруд (за методом З. Маєкави [85-86]), заснований на визначенні числа Френеля N , є достатньо простим способом визначення послаблення звуку за формулою

$$N = \pm \frac{2\delta}{\lambda}, \quad (4.4)$$

де δ – різниця довжини напряму акустичної хвилі, яка пройшла крізь перешкоду (захисний екран) та акустичної хвилі, яка б проходила за відсутністю екрану.

Збільшення числа Френеля вказує на підвищення ефективності захисної споруди. З метою визначення орієнтовної ефективності захисного екрану необхідно визначати числа Френеля для кожної середньгеометричної октавної частоти, що ускладнює загальну оцінку акустичної ефективності захисних інженерних споруд [86].

4.2 Визначення геометричної форми та параметрів захисних екранів

Таким чином, в умовах великих промислових міст із забудовою, що складалася роками, та значними рівнями шуму транспортних потоків найбільш раціональним є застосування захисних інженерних конструкцій.

Конструкції захисних екранів досить різноманітні й відрізняються за багатьма показниками [87-91].

Конструкція захисних інженерних споруд може включати наступні елементи:

- 1) фундамент;
- 2) несучі елементи каркасу (стійки, опорні профілі та ін.);
- 3) елементи кріплення;
- 3) шумопоглинальні панелі;
- 4) прозорі звуковідбивні панелі.

Захисні екрани за функціональністю можна поділити на три типи: шумопоглинальні, шумовідбивні й комбіновані. Досвід провідних виробників захисних екранів показав, що найбільш ефективними є комбіновані захисні інженерні конструкції. Такі екрани поряд з звукоізолюючими властивостями містять звукопоглинаючі, що збільшує їх ефективність.

Захисні екрани можуть бути як непрозорими, тобто складатися тільки з суцільних акустичних панелей, так і світлопрозорими – з панелями з органічного скла. У цьому випадку екран дуже добре може вписуватися в пришляховий пейзаж і не викликає неприємних відчуттів та стомлення у водіїв, пішоходів, мешканців приш-

ляхових районів. Можливість застосування різних конструкцій захисних екранів в залежності від потреб середовища, що оточує автомобільну дорогу, характеризує екрани як найбільш оптимальний підхід до боротьби з транспортним шумом.

При поширенні акустичних коливань від транспортного джерела шуму в навколишнє середовище при наявності захисної інженерної конструкції розглядаються чотири шляхи розповсюдження хвиль [50]: 1) хвилі, що проходять поверх екрану у напрямку видимості джерела шуму, 2) хвилі, що проходять завдяки дифракції; 3) хвилі, що відбиваються від поверхні захисного екрану; 4) хвилі, що безпосередньо проходять крізь екран та впливають на об'єкти, які підлягають захисту. Для завдань захисту прилеглої території від транспортного шуму захисними інженерними конструкціями інтерес представляють дифракційні хвилі та хвилі, що проходять крізь захисний екран. Тому з метою підвищення ефективності застосування захисних екранів необхідно вживати заходів по збільшенню втрат енергії при проходженні акустичних хвиль крізь захисну інженерну споруду. Таку ціль переслідують різноманітні конструкції захисних екранів.

Конструкція захисного екрану [92] включає каркас із закріпленими на ньому за допомогою кріпильних елементів перфорованими пластинами різної довжини й ширини, причому поверхня, звернена до джерела шуму, є синусоїдальною. Акустичний ефект захисної інженерної конструкції полягає в тому, що звукові хвилі гасяться в її щілинах за рахунок поглинання при терті в шарах матеріалу. При цьому акустична тінь, утворена екраном, подовжується за рахунок затягування хвиль синусоїдальним рельєфом поверхні екрану, спрямованої до джерела шуму. Ефективність шумопоглинання розглянутого захисного екрану становить 5 - 7 дБ у широкому діапазоні частот.

Від розглянутої вище конструкції захисного екрану принципово відрізняється звукоізоляційна панель [93], що складається із пневматичних елементів, закритих зовнішньою захисною стінкою, що має металевий чарунковий каркас, в осередки якого поміщені пневматичні елементи. Вони закриті з однієї сторони металевою захисною сіткою, а з іншого боку - перфорованим екраном. Пневматичні елементи виконані на зовнішніх поверхнях з гофрами, на які нанесений шар звуковбирного ма-

теріалу. Наявність гофри на порожніх елементах і розташування їх у різних напрямках виключає резонанси між протилежними поверхнями порожніх елементів, що приводить до збільшення звукоізоляції панелі. Цьому також сприяє наявність звуковбирного матеріалу на двох зовнішніх поверхнях замкнутих гофрованих елементів.

Застосування чарункового металевого звареного каркасу приводить до зменшення витрат матеріалу на елементи кріплення. Використання набору порожніх замкнених елементів замість суцільного шару приводить до збільшення звукоізоляції.

З метою захисту робочих місць та сельбищної зони від транспортного шуму можна використовувати захисну інженерну конструкцію, що запропонована в [94-95]. Екран складається із залізобетонних опорних елементів, що мають розширення в нижній частині, і плоских плит, які уставляються в похилі пази на звернених до них площинах опорних елементів, з кутом нахилу по вертикалі, що збільшується знизу нагору, від 0° до 30° . Простір між плитами заповнено ґрунтом, у якому можна висаджувати рослини з метою збільшення акустичного ефекту й поліпшення зовнішнього вигляду шумозахисного огороження.

Інша конструкція захисного екрану пропонується в [96]. Дане шумозахисне огороження виконане у вигляді сукупності кутових відбивачів, вершини яких спрямовані у бік, протилежний звуковій хвилі, що надходить, й лежать в одній площині. Звукові хвилі, при надходженні до екрану, відбиваються від нього. Кожний з тілесних кутів екрану діє за принципом кутового відбивача й направляє відбиту звукову хвилю в напрямку до джерела звуку, якщо довжина хвилі не перевищує довжину ребер тілесних кутів. При зменшенні довжини хвилі, що падає, акустична ефективність кутового відбивача зростає за рахунок збільшення площі розсіювання, що, в свою чергу, збільшує поверхню екрану, що відбиває, в цілому. Крім того, можливе зростання акустичної активності за рахунок інтерференції падаючих і відбитих звукових хвиль.

З метою підвищення надійності захисту звуковбирного матеріалу від атмосферних впливів і ефективності його використання розроблена захисна інженерна конструкція [97]. Горизонтальні панелі зі звуковбирним матеріалом, передбачені в її

конструкції, виконані в перетині у вигляді сектору із зовнішньою поверхнею з водонепроникного матеріалу. Внутрішня поверхня панелей перфорована, а з відкритої сторони встановлена захисна сітка. Панелі нерухомо закріплені на осях, які розташовані в корпусі з можливістю повороту. У робочому положенні панелі утворюють між собою зазори, що виконують функції горловин резонаторів для поглинання шуму. З таких екранів, встановлених впритул друг до друга, можливо створити захисну стіну навколо транспортних джерел шуму.

Оригінальна конструкція захисної інженерної споруди з використанням поточного середовища як заповнювача представлена в [98]. Корпус такого захисного екрану пропонується виконувати із двох герметичних полотен гнучкого матеріалу, наприклад прогумованої тканини, які розділені на секції, утворені вертикальними швами. Секції виконані з отворами у вигляді горловин із кришками у верхній частині для заливання рідини. Нижні частини секцій з'єднані між собою з установкою в місцях з'єднання чотирьох позиційних кранів для з'єднання й роз'єднання секцій і по чергового зливу з них рідини. Екран за допомогою підвісок рухливо кріпиться до троса. Рідина заливається в найбільш доступну з горловин і при відповідному положенні міжсекційних кранів заповнює порожнини інших секцій. Така конструкція захисного екрану забезпечує його мобільність і простоту зміни конфігурації.

Захисна інженерна конструкція [99] принципово відрізняється від розглянутих вище тем, що розташовується не уздовж автомобільних доріг, які є джерелами шумовипромінювання, а на конструкціях будівель, що обгороджують, зокрема, на вікнах і балконах житлових та офісних будинків, розташованих поблизу джерел акустичного дискомфорту. Розглянута захисна інженерна конструкція виконана з підвіконними плитами, з'єднаними з огородженням балкона за допомогою кронштейнів. Кожна плита має із зовнішньої сторони пластину зі звуковбирним матеріалом, з'єднану із плитою гнучкими підвісками. У сукупності така конструкція утворює панельний поглинач. Частота настроювання поглиначів визначається відстанню між плитою й пластинами. Настроювання на резонансну частоту здійснюються за допомогою гнучких підвісок. В якості звуковбирного матеріалу пропонується матеріал

«Пемзоліт». Для забезпечення стоку дощових вод і при таненні снігу плити встановлюються з нахилом так, щоб стік води направлявся по ринвах.

В [100] пропонується спростити монтаж і знизити вартість залізобетонних шумозахисних огорожень шляхом виготовлення опорних елементів у вигляді стійок прямокутного перетину, що мають на площинах, звернених до плит, похилі пази, розташовані під кутом 45° до ребер стійок і 90° друг до друга, вертикальний паз виконується по осі стійки, при цьому акустичні плити заведені в пази стійок.

Екран для захисту від транспортних шумів [101] складається з несучої рами зі звареного трубчастого каркасу з телескопічно з'єднаними елементами й прутковими поперечками, на які покладений матеріал з великими активними втратами (наприклад, поліетиленова або тканина стрічка, оброблена матеріалом, що демпфірує). Шум від джерела, поширюючись убік захисної інженерної конструкції, взаємодіє з його елементами. При цьому низькочастотні коливання гасяться при дисипації в процесі коливань ребер, що згинають. Середні й високочастотні коливання загасають у щілинах між ребрами екрану за рахунок активних втрат. Залежно від характеру шуму, його спектру, а також з естетичних міркувань може бути обраний різний профіль екрану.

Пластинчасті елементи, які використовуються в захисній інженерній конструкції [102], вигнуті з певним радіусом кривизни, що збільшується в напрямку від центру екрану. Вони з'єднані по одному із країв з утворенням віялообразної форми, що має вхідний канал. Звукові хвилі, що поширюються від джерела шуму, входять у канал пластинчастих елементів і загасають у результаті тертя об стінки каналу. Значна частина звукової енергії поглинається при багаторазовому відбитті від поверхонь пластин. Регулюючи кривизну пластин, можна одержати необхідне звукопоглинання на певних частотах. Для додаткового поглинання звукової енергії поверхні пластин пропонується покривати звуковбирним матеріалом.

У зв'язку з тим, що більшість захисних інженерних конструкцій вимагають застосування значної кількості матеріалів та коштів, з метою рішення цієї проблеми, а також для підвищення технологічності й міцності екранів пропонується виконувати просторовий модуль у вигляді тристінника із середньою стовщеною стінкою й роз-

ташованими симетрично під тупим кутом до неї бічними стінками, обмеженими збіжними рівнопохилими торцевими гранями [103]. Така конфігурація модульних елементів дозволяє збирати з них захисні інженерні конструкції як прямолінійної, так і складної форми в плані. Стовщення середньої частини і зігнутість форми дозволяє забезпечувати стійкість конструкції без застосування фундаментів.

Таким чином, в загальному вигляді захисна інженерна конструкція має вигляд вертикальної стінки певної висоти, виконаний з різних матеріалів: залізобетонних панелей, дерева, цегли, металу, пластику та інших матеріалів. Кожен з цих матеріалів має свої переваги та недоліки використання, однак, в будь-якому випадку, на шумозахисну ефективність захисних екранів впливає їх геометричний розмір та форма. У зв'язку з тим, що реальний акустичний екран не може мати дуже велику висоту з міркувань естетики та економічної доцільності, їх виготовляють складної геометричної форми, яка дозволяє компенсувати зменшення геометричних розмірів.

Дифракційні явища, що виникають на гранях екрану, суттєво впливають на його ефективність, особливо в області низьких частот. Тому, в захисній інженерній конструкції необхідно передбачати додаткові заходи, які сприятимуть зменшенню розповсюдження вторинних (дифракційних) акустичних хвиль, які обгинають екран та потрапляють в область, що захищається. Цій вимозі в повній мірі відповідає захисна інженерна конструкція Y-образного профілю із звукопоглинальною поверхнею.

Вибір такої форми захисного екрану обумовлений:

- 1) можливістю зменшення дифракції на його кромці;
- 2) запобіганню утворення фронту відбитої звукової хвилі, що дає змогу не встановлювати захисний екран з протилежного боку автомобільної дороги;
- 3) можливістю підбору модулів екрану під заданий спектр транспортного шуму;
- 4) простотою монтажу та експлуатації.

Загальний вид захисної інженерної конструкції, що пропонується, наведено на рис. 4.3.

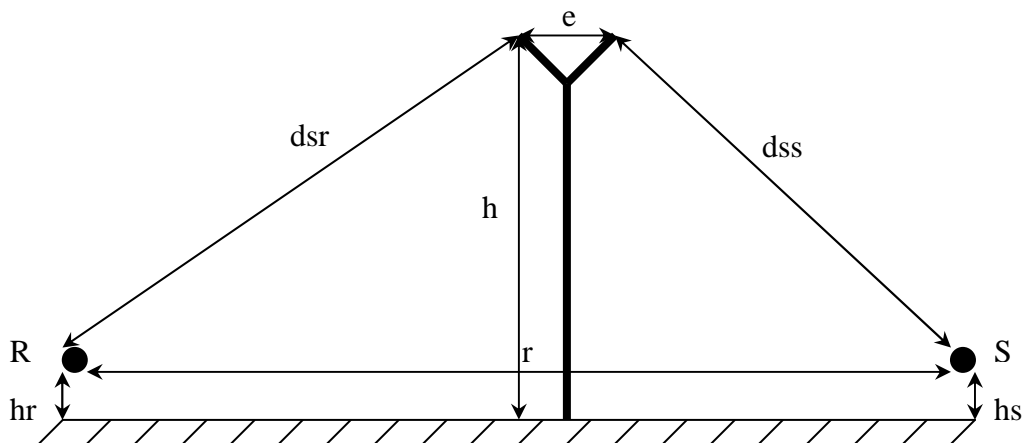


Рисунок 4.3 – Схематичне зображення захисної інженерної конструкції:

S – джерело шуму; R – об’єкт, що захищається; h – висота екрану;
 r – відстань від джерела шуму до об’єкту, що захищається; dss – відстань від джерела до першої дифракційної кромки екрану; dsr – відстань від джерела до другої акустичної кромки екрану; e – відстань між акустичними кромками екрану; hs – висота умовного акустичного центру джерела шуму; hr – висота приймача шуму

Для підтвердження доцільності складної конструкції верхньої кромки захисного екрану проведений попередній розрахунок з використанням [104].

Згідно цієї методики загасання звуку на захисному екрані A_{bar} , дБ визначається виразом

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0, \quad (4.5)$$

де D_z – загасання на екрані для кожної октавної смуги частот з урахуванням явища дифракції, дБ, визначається як

$$D_z = 10 \lg \left[3 + \left(\frac{C_1}{\lambda} \right) C_2 z K_m \right], \quad (4.6)$$

де C_1 – константа, яка враховує ефект відбиття від поверхні земля та приймається рівною $C_1 = 20$;

C_2 – константа, яка враховує дифракцію на верхніх кромках захисного екрану. У випадку плоскої перешкоди $C_2 = 1$. Для дифракції на двох кромках цей коефіцієнт розраховується як

$$C_2 = \frac{\left[1 + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2 \right]}{\left[\left(\frac{1}{3} \right) + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2 \right]}. \quad (4.7)$$

z – різниця довжини проходження акустичних коливань крізь дифракційну кромку та прямого звуку, визначається як

$$z = \left[(d_{SS} + d_{SR} + e)^2 + a^2 \right]^{1/2} - d, \quad (4.8)$$

де d_{SS} – відстань від джерела шуму до першої дифракційної кромки;

d_{SR} – відстань від другої дифракційної кромки до об'єкту, який захищається захисною інженерною конструкцією;

e – відстань між дифракційними кромками;

a – проекція на кромку екрану напряму розповсюдження звуку від джерела шуму до об'єкту, що розглядається, крізь верхню кромку екрану;

r – відстань між джерелом шуму та досліджуваним об'єктом без урахування перешкоди.

K_m – коефіцієнт, який враховує вплив метеорологічних факторів. Цей коефіцієнт визначається як

$$K_m = \exp \left[-\frac{1}{2000} \sqrt{\frac{d_{SS} d_{SR} d}{2z}} \right] \text{ при } z > 0, \quad (4.9)$$

$$K_m = 1 \text{ при } z \leq 0.$$

Дана методика дозволила провести дослідження ефективності захисної інженерної споруди залежно від її геометричних параметрів з урахуванням дифракційних явищ. Результати дослідження наведені в табл. 4.1- 4.3 та рис. 4.4 – 4.6.

Таблиця 4.1 – Результати теоретичного розрахунку ефективності захисної інженерної споруди залежно від її геометричних параметрів ($\epsilon = 0,5 \text{ м}$)

Частота, Гц	Розрахункова ефективність екрану, дБ, при відстані між кромками 0,5 м			
	h = 2	h = 3	h = 4	h = 5
63	4,12	4,76	5,31	5,77
125	5,07	5,84	6,46	6,96
250	6,20	7,05	7,71	8,24
500	7,45	8,35	9,04	9,59
1000	8,83	9,75	10,46	11,01
2000	10,42	11,36	12,07	12,62
4000	12,36	13,30	14,02	14,58
8000	14,40	15,35	16,06	16,62

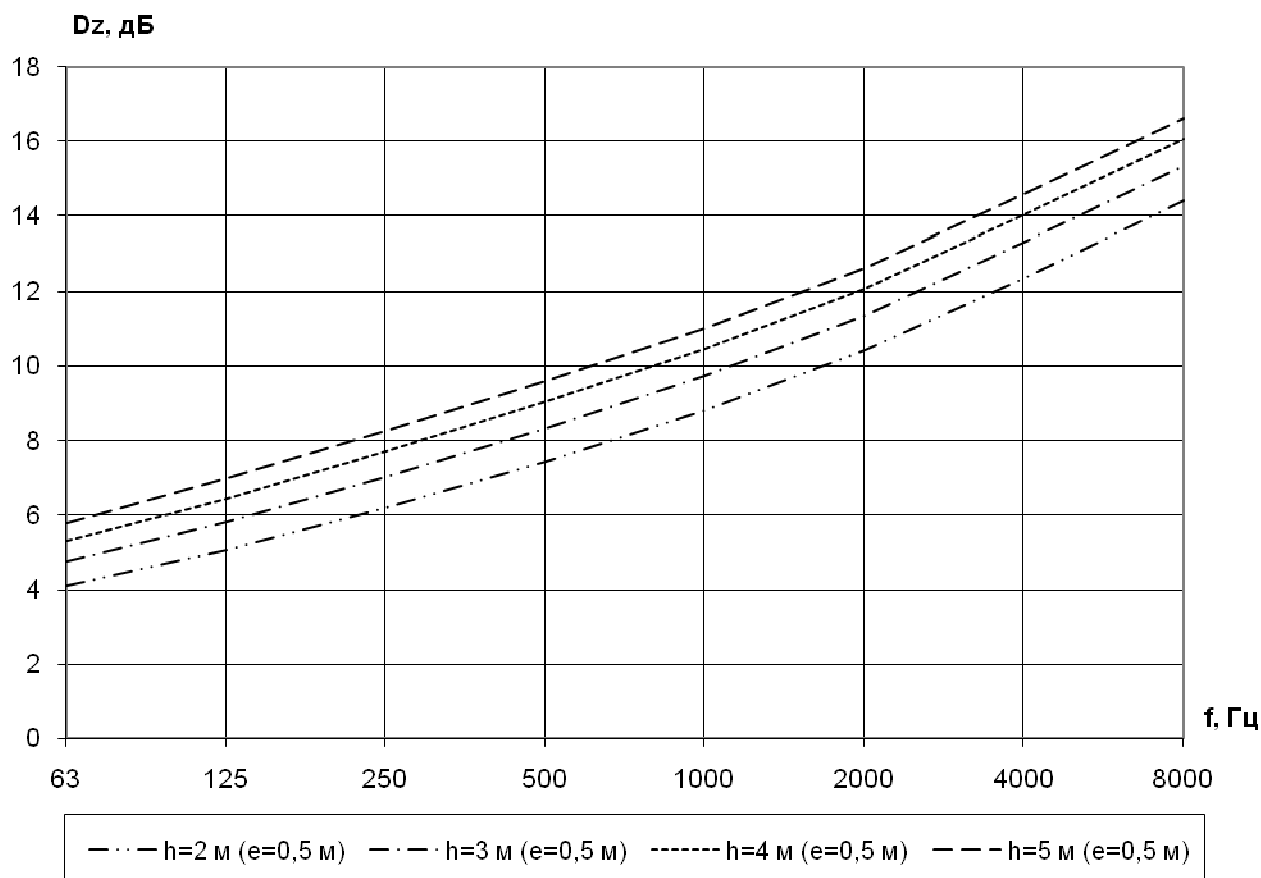


Рисунок 4.4 – Розрахункове загасання акустичних коливань на екрані при відстані між дифракційними кромками 0,5 м

Таблиця 4.2 – Результати теоретичного розрахунку ефективності захисної інженерної споруди залежно від її геометричних параметрів ($\epsilon = 1$ м)

Частота, Гц	Розрахункова ефективність екрану, дБ, при відстані між кромками 1 м			
	h = 2	h = 3	h = 4	h = 5
63	4,52	5,06	5,54	5,96
125	5,56	6,18	6,72	7,17
250	6,76	7,44	8,00	8,47
500	8,10	8,81	9,39	9,88
1000	9,67	10,40	10,99	11,48
2000	11,60	12,34	12,94	13,43
4000	13,64	14,38	14,98	15,47
8000	15,37	16,11	16,71	17,21

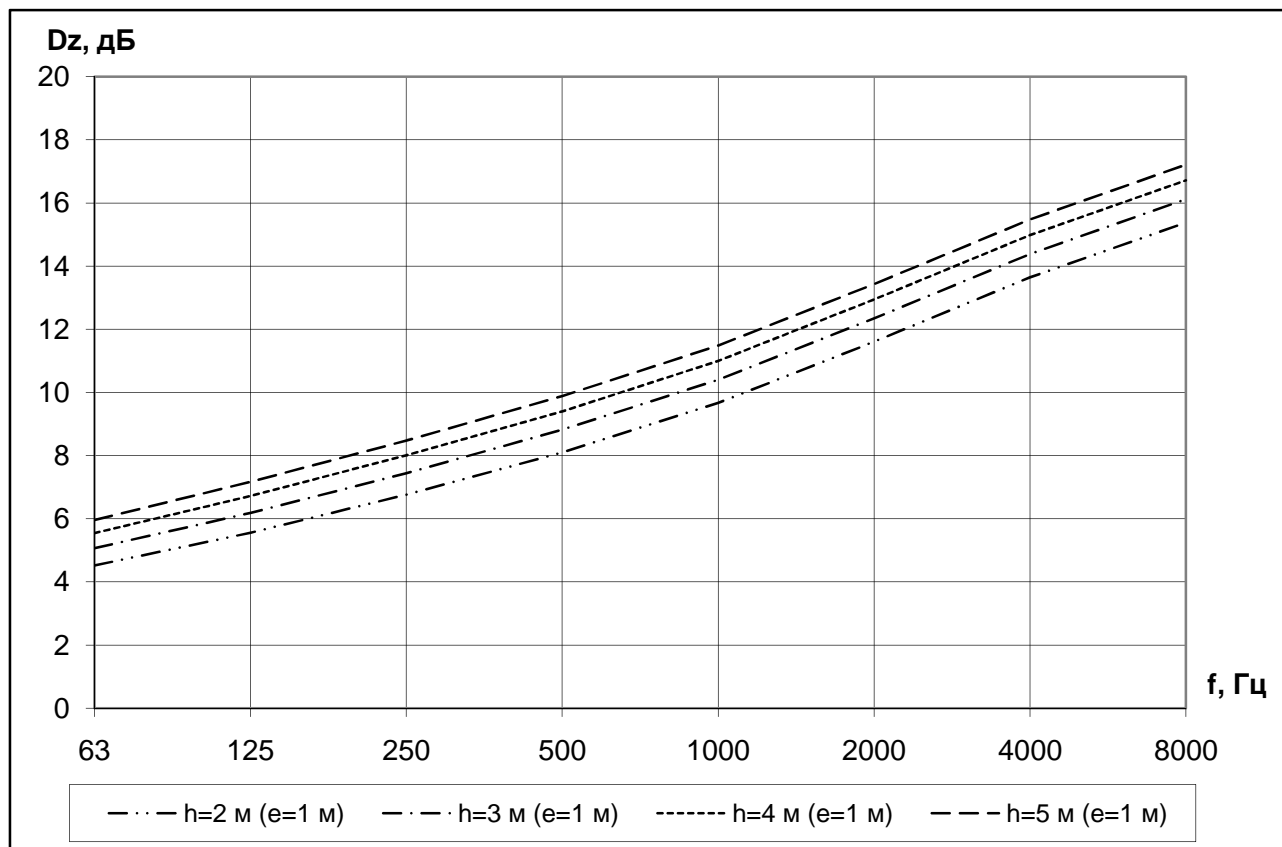


Рисунок 4.5 – Розрахункове загасання акустичних коливань на екрані при відстані між дифракційними кромками 1 м

Таблиця 4.3 – Результати теоретичного розрахунку ефективності захисної інженерної споруди залежно від її геометричних параметрів (e = 1,5 м)

Частота, Гц	Розрахункова ефективність екрану, дБ, при відстані між кромками 1,5 м			
	h = 2	h = 3	h = 4	h = 5
63	4,86	5,33	5,75	6,13
125	5,95	6,48	6,95	7,35
250	7,21	7,78	8,27	8,69
500	8,66	9,24	9,75	10,19
1000	10,43	11,03	11,54	11,98
2000	12,48	13,09	13,61	14,05
4000	14,36	14,96	15,48	15,93
8000	15,92	16,53	17,05	17,49

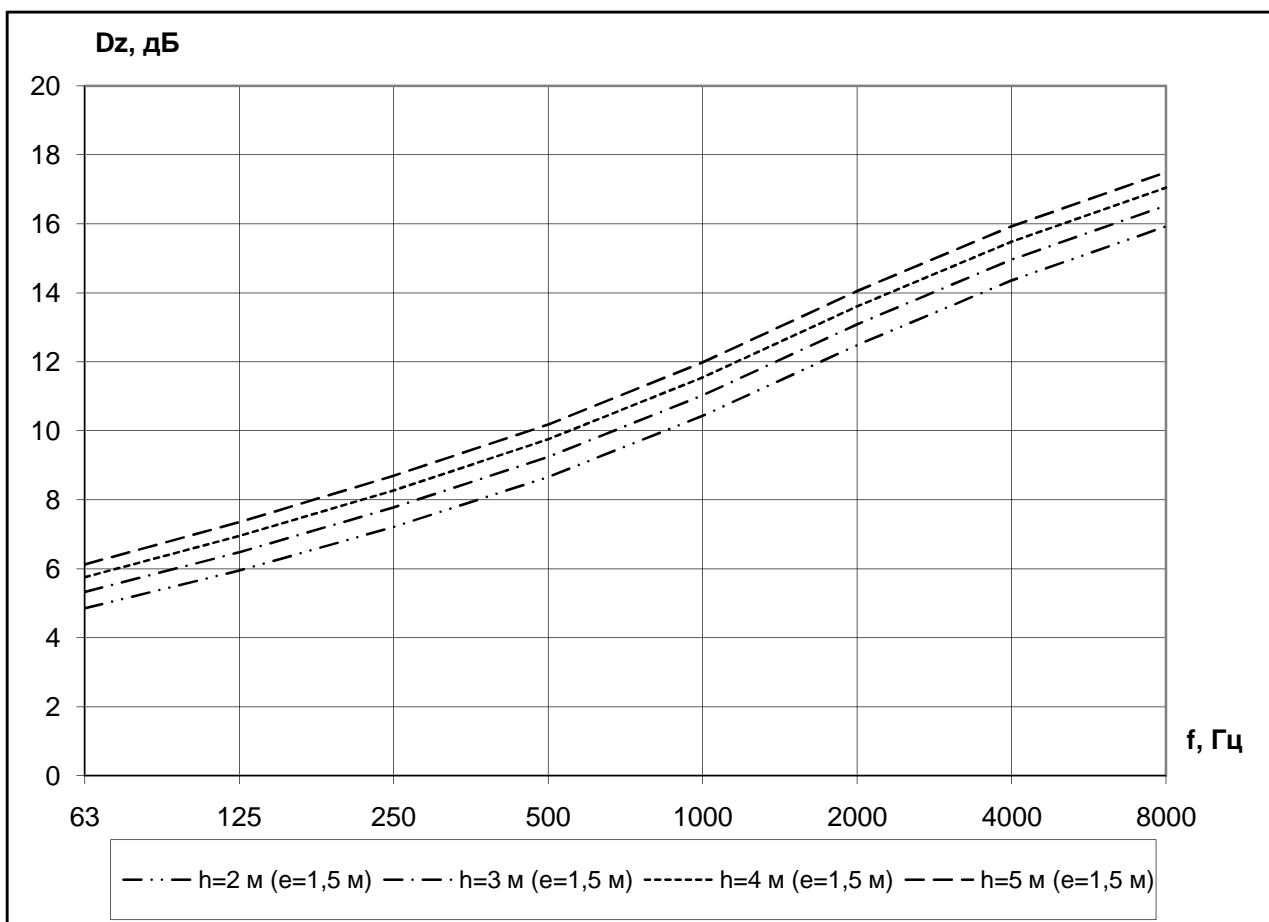


Рисунок 4.6 – Розрахункове загасання акустичних коливань на екрані при відстані між дифракційними кромками 1,5 м

Таким чином, збільшення висоти захисної інженерної конструкції та відстані між дифракційними кромками призводить до зростання величини загасання акустичних хвиль на всьому діапазоні середньгеометричних октавних частот. Причому встановлено, що загасання акустичних коливань на екрані висотою 5 м при відстані між дифракційними кромками 0,5 м майже співпадає із екраном висотою 4 м при відстані між дифракційними кромками 1 м, а також із екраном висотою 3 м при відстані між дифракційними кромками 1,5 м (рис. 4.7).

Таким чином, Y- образна конструкція захисної інженерної споруди дозволяє зекономити на її висоті. Це є суттєвою перевагою для об'єктів, що захищаються, які мають декілька поверхів.

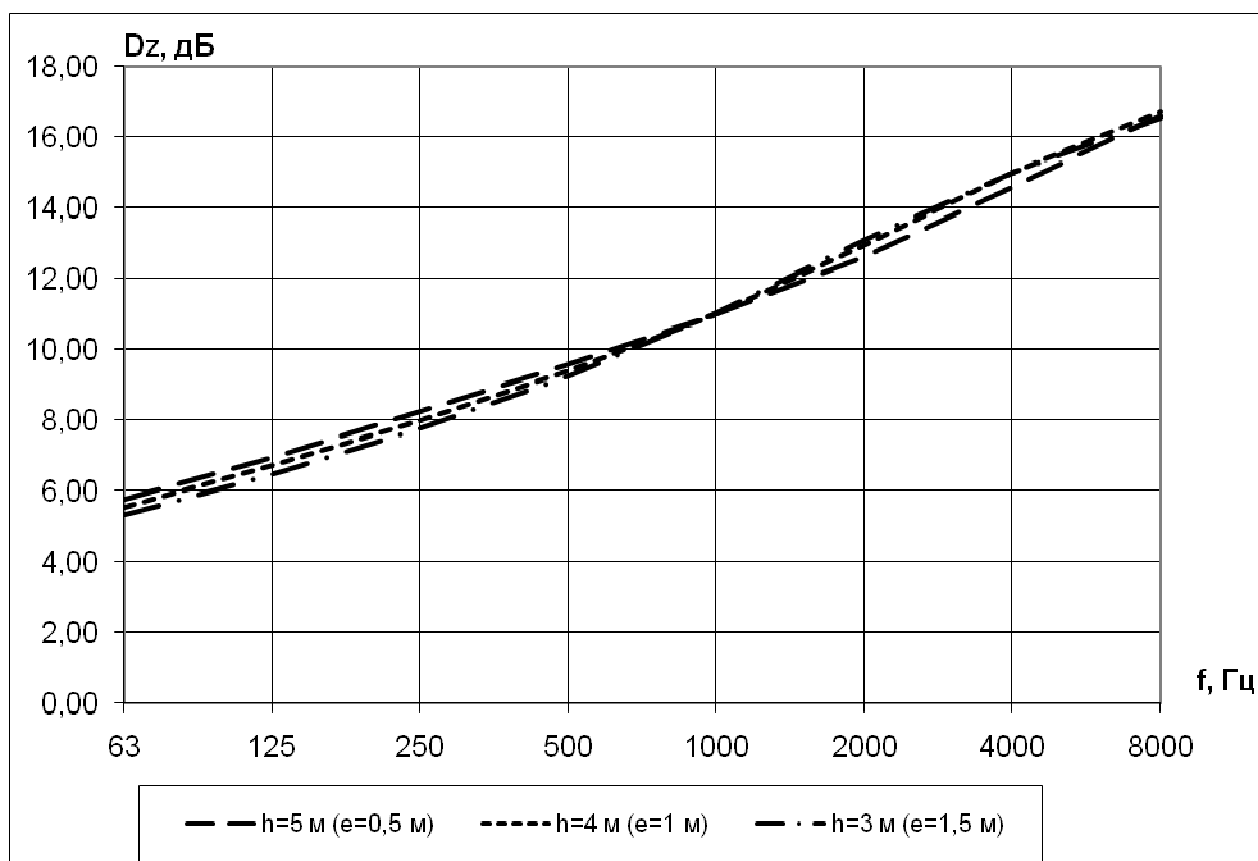


Рисунок 4.7 – Зіставлення розрахункового значення загасання акустичних коливань на екранах висотою 3; 4 та 5 м при відстані між дифракційними кромками відповідно 0,5; 1 та 1,5 м

Крім того, за даними [65] застосування захисних екранів сприяє зниженню концентрації шкідливих хімічних речовин на рівні 50 – 60 % залежно від їх висоти.

4.3 Розробка конструкції захисних інженерних споруд

4.3.1 Вимоги, що висуваються до захисних інженерних споруд. Вище зазначалося, що при розробці конструкції захисного екрану необхідно враховувати те, що при однобічному його розміщенні забудова, яка знаходиться на протилежному боці від автомобільної дороги, буде підлягати посиленому акустичному навантаженню за умови, що захисний екран виконаний із звуковідбивного матеріалу (залізобетон, дерево, склопластик, метал та ін.). Тому доцільно використовувати комбіновану конструкцію, яка має не тільки звуковідбивні, але й звукопоглинаючі властивості.

Таким чином, конструкція захисної інженерної споруди повинна задовольняти ряду вимог, а саме:

- забезпечувати максимально можливу акустичну ефективність при мінімальних геометричних розмірах;
- бути надійною та довговічною у використанні, мати високі пожежобезпечні та антивандальні показники;
- естетично вписуватися в навколишнє середовище;
- не створювати додаткових джерел небезпеки, зокрема – не зменшувати оглядовість ділянки доріг поблизу перехресть;
- не посилювати інтенсивність акустичних коливань на протилежному боці автомобільної дороги при однобічному встановленні захисних екранів у випадку розташування там об'єктів із постійним перебуванням людей;
- витримувати значне вітрове навантаження, а також вплив інших факторів навколишнього середовища;
- складатися із матеріалів, що мають собівартість, економічно виправдану для використання їх на протяжних об'єктах.

Враховання цих вимог в конструкції захисних екранів дозволить зробити їх зручним та звичним елементом міської забудови.

4.3.2 Загальний вигляд запропонованої захисної інженерної конструкції. У зв'язку з необхідністю забезпечення зорового комфорту мешканців сельбищної зони та достатньої видимості водіїв захисні інженерні конструкції доцільно виконувати прозорими, але це погіршує їх захисні властивості. Тому в роботі запропонована комбінована конструкція захисного екрану, що містить в собі поєднання світлопрозорих та звукопоглинальних модулів (рис. 4.8).

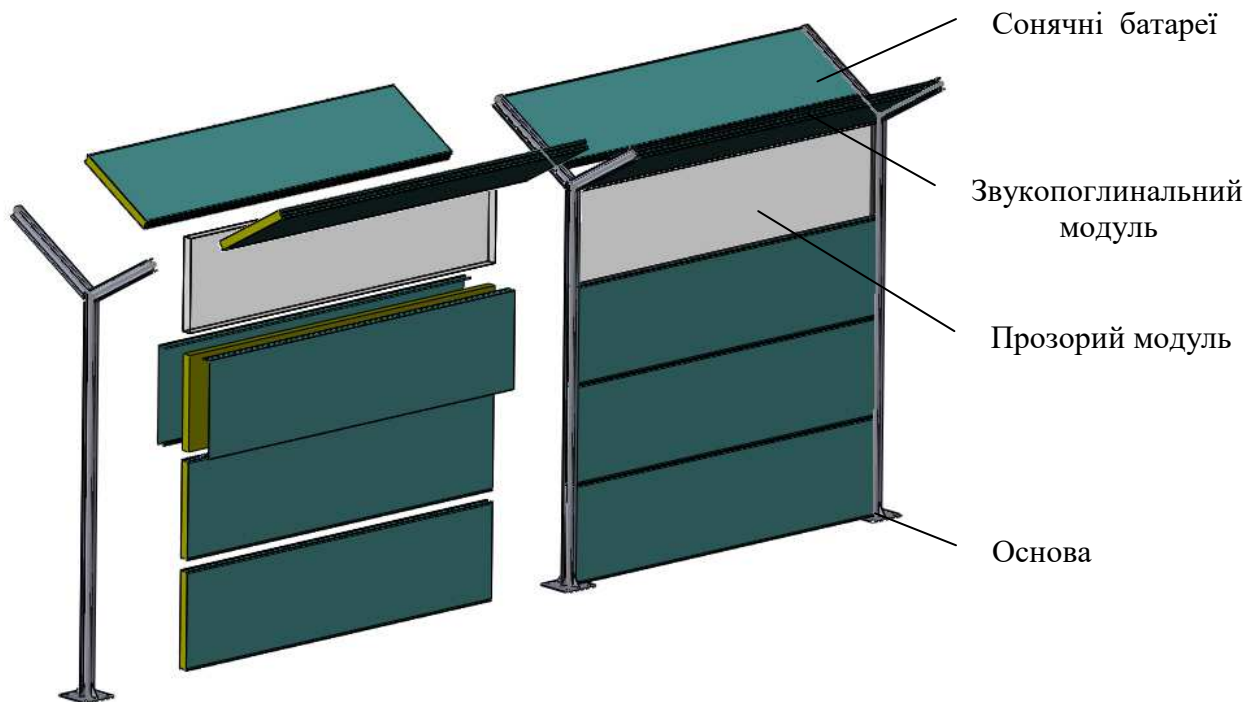


Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд та елементи конструкції захисного екрану

Дана конструкція захисної інженерної споруди не тільки дозволяє ефективно захистити сільбищну зону, прилеглу до автомобільної дороги, від інгредієнтного та параметричного забруднення, але й дозволяє зберегти достатню видимість шляху та не обтяжує загальний вигляд вулиці. Враховуючи це, її можна застосовувати для захисту житлових будинків, лікарень, дитячих майданчиків та інших категорій об'єктів з особливими вимогами щодо якості повітря, які розташовані в безпосередній близькості до автомобільних доріг. Універсальність конструкції захисного екрану, що пропонується, підтверджується тим, що він може бути придатним для розміщення світильників вуличного освітлення, в яких джерелом живлення є сонячні батареї, розташовані в верхній зоні екрану. Така комбінація є економічно доцільною як з боку капіталовкладень на будівництво системи зовнішнього освітлення, так і з боку його енергоефективності.

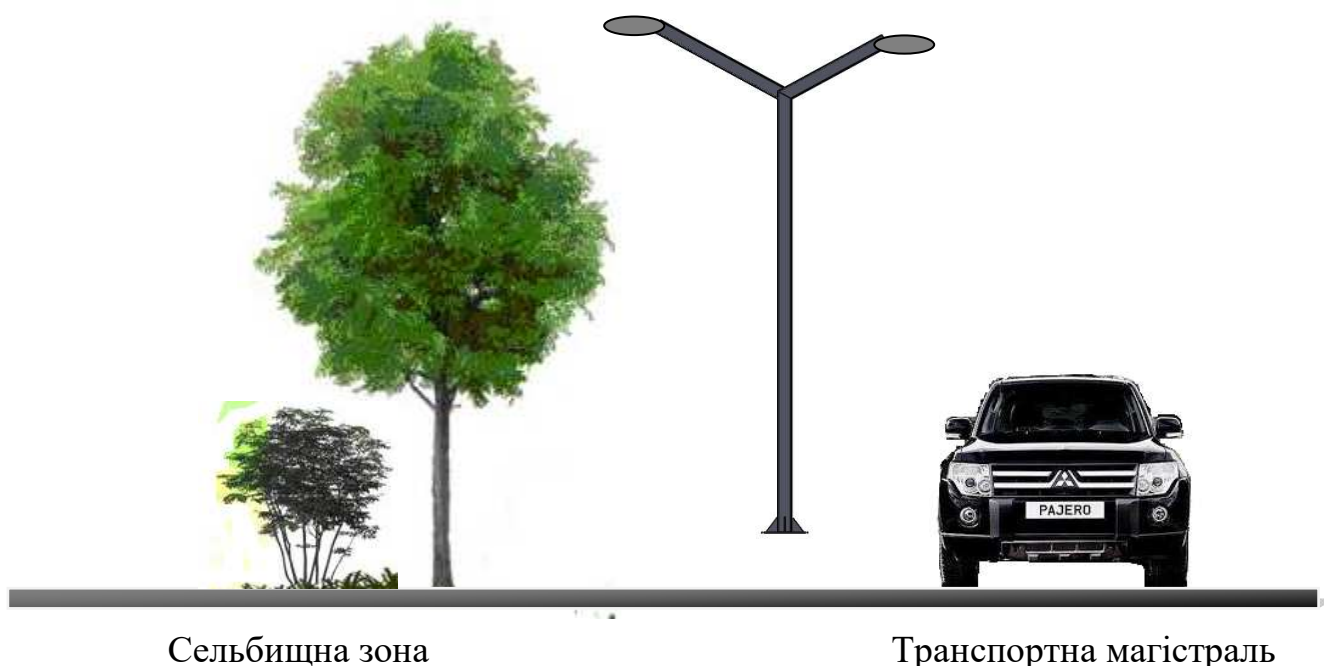


Рисунок 4.9 – Захисний екран (вигляд у розрізі)

4.3.3 Обґрунтування вибору наповнювача звукопоглинальних модулів. Конструкція захисного екрану передбачає застосування звукопоглинаючих матеріалів з метою зниження вторинних акустичних проявів транспортного потоку внаслідок відбиття акустичних хвиль від поверхні екрану у протилежний бік.

Під звукопоглинанням розуміється наявність конструкцій, які оброблені звукопоглинальним матеріалом, призначених зменшувати інтенсивність звукових хвиль, що відбиваються від їх поверхні, за рахунок перетворення акустичної хвилі в теплову [105].

За відсутності засобів звукопоглинання можливим є: або збільшення рівня шуму на примагістральній території з протилежного від захисної інженерної конструкції боку (у випадку однобічного його розташування); або створення умов для багаторазового відбиття акустичних хвиль від поверхонь екрану, що призведе до зростання рівнів шуму на верхніх поверхах багатоповерхівок, що розташовані на примагістральній території (у випадку розташування захисних екранів по обидва боки від автомобільної дороги).

Таким чином, впровадження звукопоглинальних елементів в конструкцію захисного екрану є важливою вимогою по забезпеченню його ефективності щодо зниження рівнів шуму на території, що розташована поблизу автомобільної дороги.

Вибір типу звукопоглинального матеріалу обумовлений специфікою його експлуатації. Серед вимог, які висуваються до матеріалу, можуть бути зазначені наступні [106-107]:

- низька гігроскопічність та біологічна стійкість;
- негорючість;
- достатня звукопоглинальна ефективність;
- стабільність акустичних характеристик.

Аналіз звукопоглинальних матеріалів, придатних для використання в якості наповнювачів звукопоглинальних модулів захисних інженерних конструкцій показав, що за своєю структурою вони поділяються на наступні види [106-107]:

- із волокнистою структурою;
- із пористою структурою;
- із пористо-губчастою структурою;
- із зернистою структурою;
- із змішаною структурою.

В якості сировини, що використовується для виробництва звукопоглинальних матеріалів, застосовуються: полімери органічного походження, композиційні матеріали, мінеральні волокна та ін.

З урахуванням того, що призначення захисного екрану полягає не тільки в зниженні акустичної складової впливу транспортних потоків на прилеглу територію, але й ступеня інгредієнтного забруднення, вибір наповнювача звукопоглинальних модулів необхідно здійснювати з урахуванням можливих абсорбційних якостей матеріалу. З урахуванням цього можливим є зниження ступеня загазованості не тільки на примігстральних територіях, але й безпосередньо в зоні руху автотранспортних потоків.

Таким вимогам задовольняють вуглецеві матеріали. В якості сировини для них можна використовувати будь-які речовини, що містять вуглець: целюлоза, торф,

кам'яне вугілля, синтетичні полімерні матеріали, різні органічні відходи та ін. [108]. У зв'язку із значною кількістю варіантів отримання вуглецевих матеріалів та великою ресурсною базою, ці матеріали є досить поширеними, а їх світове виробництво досягає майже одного мільйона тон на рік.

Технологічний процес виготовлення вуглецевих матеріалів шляхом піролізу з твердої органічної сировини при різних швидкостях нагріву дозволяє отримати матеріал з різним розміром чарунок [108], що впливає на його звукопоглинальні та абсорбційні властивості.

Вуглецеві матеріали виготовляються у різних формах: гранульованими, волокнистими, пористими, плівковими. Це обумовлюється широким спектром застосування матеріалів у різних галузях промисловості.

Для умов використання вуглецевих матеріалів в звукопоглинальних модулях захисних інженерних конструкцій необхідно визначити найбільш ефективну, з точки зору гасіння акустичних хвиль, та зручну форму їх виготовлення. Слід враховувати, що шум транспортного потоку є непостійним, тому звукопоглинальний матеріал повинний бути ефективним в широкій області частот.

Ефективність звукопоглинального матеріалу в значній мірі обумовлюється низкою його характеристик, таких як: товщина; питома площа поверхні пор; загальний обсяг наскрізних каналів; щільність та інші. Виходячи з міркувань зручності монтажу та подальшої експлуатації, доцільним є використання вуглецевих матеріалів у вигляді рулонних матеріалів із волокнистою структурою, а також у вигляді пористих плит.

Для фіксації звукопоглинального матеріалу в модулі та попередженні його висипання із конструкції захисного екрану можна використовувати тканинні оболонки, які можуть бути виготовлені, наприклад, зі скляного або капронового волокна. З метою підвищення рівня пожежної безпеки конструкції можливою є обробка тканинних оболонок антипіренами.

При порівнянні звукопоглинальної ефективності волокнистих рулонних матеріалів та пористих плит можна зробити висновок, що більший коефіцієнт звукопогли-

нання мають матеріали з більшою площиною пористості за відсутності наскрізних каналів при однакових інших фізико-хімічних властивостях.

В табл. 4.4 наведені деякі характеристики волокнистих матеріалів [108], які можуть бути придатними для застосування в якості наповнювачів звукопоглинальних модулів захисних екранів.

Таблиця 4.4 – Характеристики активованих вуглецевих волокнистих матеріалів [108]

Назва матеріалу*	Питома площа, м ² /г	Розмір чарунок, нм	Тип розподілення чарунок	Сумарний об'єм мікропор, см ³ /г
Carbosieve	1179	0,3 – 0,7	Вузьке	0,43
LF 005	889	0,3 – 0,7	Вузьке	0,35
LF 143	1408	0,3 – 2,0	Відносно вузьке	0,55
LF 518	1793	0,3 – 3,0	Найширше	0,98
AX 21	3393	0,3 – 2,0	Широке	1,52

* Примітка: матеріал LF отримано з целюлози, AX – з пеку, Carbosieve – з синтетичного полімеру.

Звукопоглинальний матеріал розміщується в перфорованому металевому модулі, який забезпечує необхідну жорсткість конструкції.

4.4 Оцінка ефективності захисного екрану

Відповідно до [54] оцінка акустичної ефективності захисних інженерних конструкцій здійснюється за виразом (4.4), причому розрахункова довжина звукової хвилі приймається залежно від типу колісного транспортного засобу і для автомобілів, автобусів і тролейбусів складає 0,84 м.

При оцінці ефективності захисної інженерної споруди за відсутності дифракційних кромки різниця між довжиною шляху звукової хвилі, яка пройшла крізь перешкоду (захисний екран) та акустичної хвилі, яка б проходила за відсутністю екрану, визначається за формулою [54]:

$$\delta = a + b - c, \quad (4.10)$$

де a – найкоротша відстань між умовним акустичним центром джерела шуму та верхнім ребром екрану (для автотранспортного потоку умовний акустичний центр розташовується на осі найдовшої від розрахункової точки смуги руху на висоті 1 м від поверхні проїзної частини вулиці), м;

b – найкоротша відстань між розрахунковою точкою і верхнім ребром екрану, м;

c – найкоротша відстань між умовним акустичним центром джерела шуму та розрахунковою точкою, м.

Розрахункова схема для оцінки акустичної ефективності захисного екрану наведена на рис. 4.10.

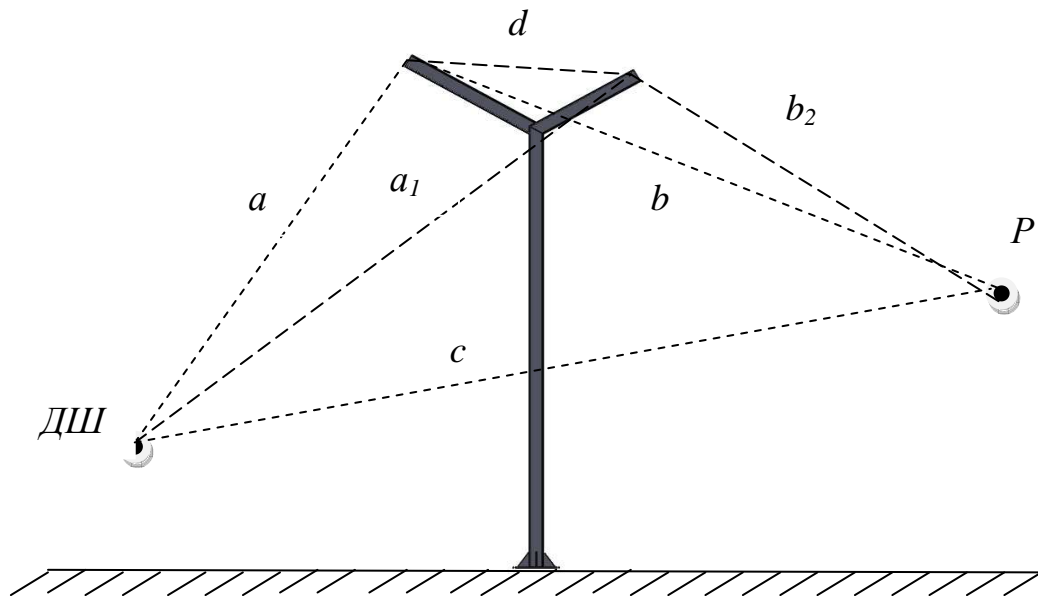


Рисунок 4.10 – Розрахункова схема для оцінки акустичної ефективності захисного екрану

Відстані за виразом 4.10 визначаються як:

$$a = \sqrt{l_1^2 + (h - h_{\text{ду}})^2}, \quad (4.10)$$

де l_1 – відстань по горизонталі від умовного акустичного центру автомобільної дороги до захисного екрану, м;

h – робоча висота акустичного екрану, м;

$h_{\text{ду}}$ – висота умовного акустичного центру транспортного потоку, м;

$$b = \sqrt{l_2^2 + (h - h_{\text{pm}})^2}, \quad (4.11)$$

де l_2 – відстань по горизонталі від захисного екрану до об'єкту, що захищається, м;

h_{pm} – висота розрахункової точки на об'єкті, що захищається, м.

$$c = \sqrt{(l_1 + l_2)^2 + (h_{\text{pm}} - h_{\text{ду}})^2}. \quad (4.12)$$

У випадку наявності дифракційних кромок різниця довжини шляху акустичних хвиль визначається як [79]:

$$\delta' = a_1 + d + b_2 - c \quad (4.13)$$

Для умов автомобільної дороги з двома полосами в одному напрямку та відстані від захисного екрану до об'єкту забудови чи території, що захищається, по горизонталі 50 м при розрахунковій висоті екрану 4 м : $\delta = 0,2$ та $\delta' = 0,51$, тобто ефективність екрану у вигляді прямої стінки складає 11 дБА, а у разі їх наявності – 15,4 дБА, що підтверджує доцільність використання цієї конструкції.

4.5 Оцінка небезпеки виникнення аварійної ситуації на ділянках автомобільних доріг, що обладнані захисними інженерними спорудами

Застосування захисних інженерних споруд є оптимальним вирішенням питання захисту об'єктів і територій з підвищеними вимогами до якості повітряного середовища, однак їх експлуатація може призвести до створення аварійної ситуації на автомобільній дорозі.

Застосовуючи теорію ризиків, проведемо аналіз ризику виникнення аварійної ситуації на автомобільній дорозі, вздовж якої встановлено захисні інженерні конструкції.

Оцінка ризику здійснюється за такою послідовністю:

- 1) ідентифікація небезпечних факторів;
- 2) визначення можливих сценаріїв розвитку небажаних подій;
- 3) оцінка ризиків з урахуванням частоти можливих аварій та можливих наслідків за визначеними сценаріями);
- 4) порівняння показників ризиків з метою визначення пріоритетних напрямів щодо забезпечення безпеки експлуатації ділянок автомобільних доріг, обладнаних захисними екранами;
- 5) розробка заходів щодо попередження виникнення аварійної ситуації на ділянці автомобільної дороги із захисним екраном.

Ідентифікація небезпечних факторів передбачає з'ясування переліку та причин виникнення джерел небезпеки, що є підґрунтям для розробки сценаріїв виникнення та розвитку аварійної ситуації.

Результати ідентифікації джерел небезпеки приведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати ідентифікації небезпечних факторів встановлення захисної інженерної конструкції уздовж автомобільної дороги

№ з/п	Найменування небезпечного фактору	Джерело виникнення	Причина виникнення
1	Падіння захисного екрану чи його окремих елементів на проїжджу частину	Захисний екран	1. Неналежне закріплення елементів конструкції 2. Конструктивний недолік на етапі проектування
		Погодні умови	Надмірне вітрове чи снігове навантаження
		Сторонні об'єкти	Дії людей, інших транспортних засобів та ін., що призвели до руйнування конструкції захисного екрану з подальшим падінням на проїжджу частину
2	Обмеження видимості водія	Захисний екран	Неврахування геометрії розташування штучної споруди уздовж автомобільної дороги
3	Ослаблення уваги водія	Психофізіологічні властивості водія	1. Одноманітність вигляду захисного екрану 2. Частота мелькання опорних конструкцій

На основі проведеної ідентифікації побудовано «дерево відмов», що характеризує причини виникнення аварійної ситуації на автомобільній дорозі за участю захисного екрану.

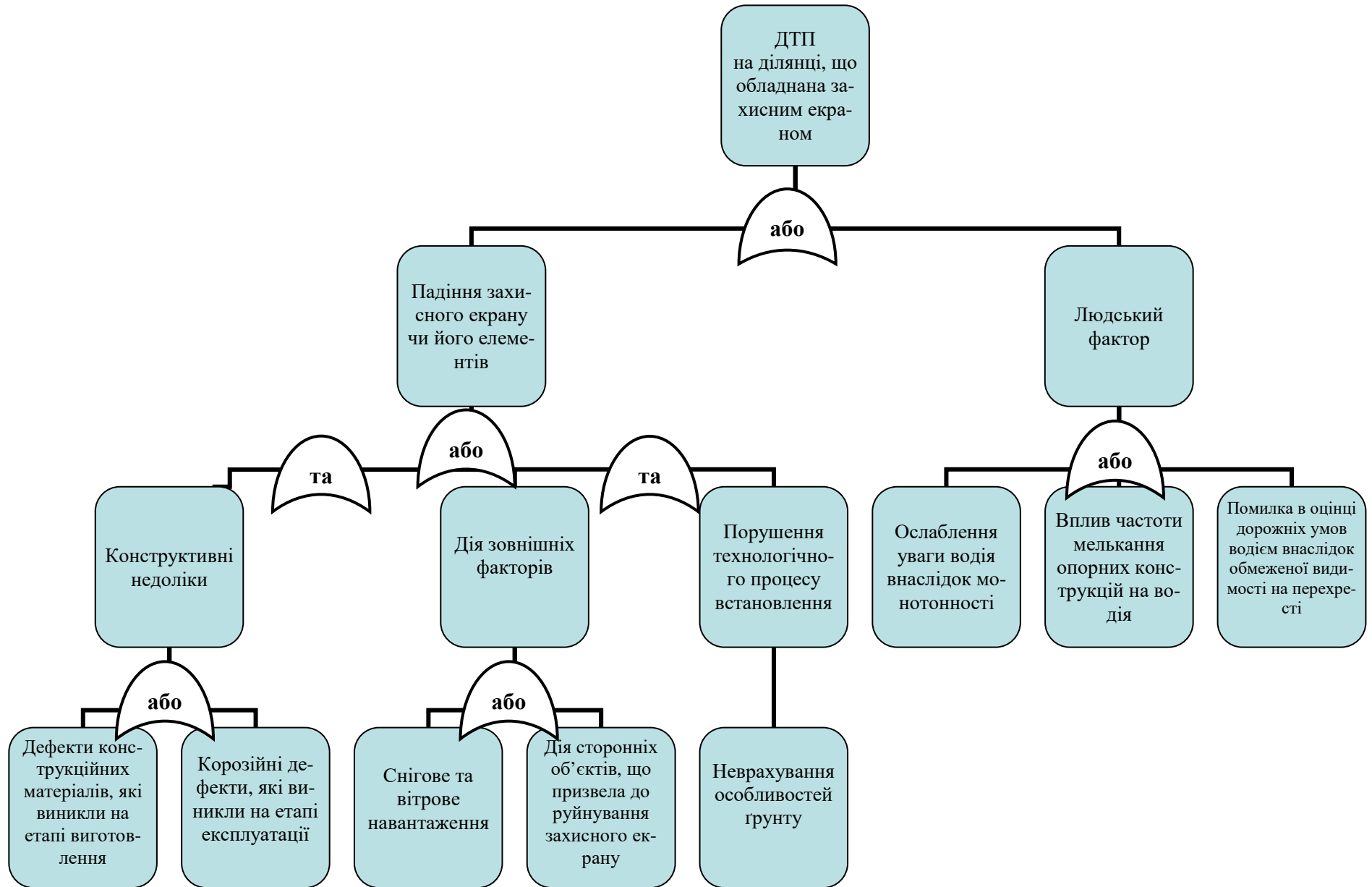


Рисунок 4.11 – «Дерево відмов» для ДТП на ділянці автомобільної дороги, обладнаної захисним екраном

Проведений аналіз показав, що в якості джерела небезпеки виникнення аварійної ситуації визначено як сам захисний екран, так і дії зовнішніх факторів (погодних умов), а також психофізіологічні властивості водія. Враховуючи це, нижче наведено можливі сценарії виникнення та розвитку аварійної ситуації в системі «автомобільна дорога – автомобіль – захисний екран»:

1) зіткнення – може відбутися у наступних випадках:

- якщо водій, намагаючись виконати об'їзд перешкоди, що знаходиться на проїжджій частині, різко змінює траєкторію руху, при цьому транспортний засіб потрапляє на іншу смугу руху та стикається з іншим автомобілем, що рухається;

- якщо водій втратив увагу та вчасно не зреагував на появу інших транспортних засобів на перехресті;

2) наїзд на перешкоду – може відбутися у наступних випадках:

- коли транспортний засіб наїхав на елемент захисного екрану, що з будь-якої причини впав на проїжджу частину;

- коли водій втратив керування і автомобіль наїхав на захисний екран, що розташований на узбіччі.

З метою оцінки ступеня впливу причин розвитку зазначених вище сценаріїв проведено оцінку їх значимості, частоти виникнення та можливості виявлення задля отримання значення пріоритетного числі ризику (ПЧР) методом «Аналіз вигляду і наслідків події» («Failure Mode and Effects Analysis» (FMEA)) [109, 110]. Даний метод належить до групи детермінованих якісних методів аналізу та ризиків ДТП [111].

Оцінка значимості здійснювалася за 10-бальною шкалою серйозності наслідків. Шкали балів для цих критеріїв наведено в табл. 4.6.

Результати ранжирування причин, за яких може відбутися ДТП за участі автотранспортного засобу та захисної інженерної конструкції, які отримані шляхом проведення експертної оцінки серед фахівців з безпеки дорожнього руху, наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.6 – Шкала балів для проведення експертної оцінки рівнів небезпеки причин виникнення та наслідків ДТП на ділянці автомобільної дороги, обладнаної захисною інженерною спорудою

Бал	Критерій значимості S	Критерій частоти виникнення O	Критерій можливості виявлення D
10	Підвищена небезпека	Дуже висока (I ступінь)	Майже неможливо
9	Підвищена небезпека з можливим попере- дженням	Дуже висока (II сту- пінь)	Дуже віддалена можли- вість
8	Дуже вагомий вплив	Висока (I ступінь)	Віддалена можливість
7	Вагомий вплив	Висока (II ступінь)	Дуже слабка можли- вість
6	Помірний вплив	Помірна (I ступінь)	Слабка можливість
5	Слабкий вплив	Помірна (II ступінь)	Помірна можливість
4	Дуже слабкий вплив	Помірна (III ступінь)	Майже добра можли- вість
3	Незначний вплив	Низька (I ступінь)	Добра можливість
2	Дуже незначний вплив	Низька (II ступінь)	Висока можливість
1	Відсутній вплив	Мала	Повна впевненість

Пріоритетне число ризику являє собою комплексний показник небезпеки, який порівнюється з гранично допустимим рівнем цього показника. У випадку його перевищення можна робити висновок щодо необхідності застосування керуючих дій в напрямку попередження виникнення аварійної ситуації на даній ділянці автомобільної дороги.

При граничному рівні ПЧР, що дорівнює 200, можна зробити висновок про те, що з восьми факторів, що розглядаються, значимими є шість (рис. 4.12).

Даний аналіз надав можливість у виборі пріоритетних рішень щодо забезпечення безпеки експлуатації ділянок автомобільної дороги, обладнаних захисними інженерними спорудами.

Таблиця 4.7 – Результати бальної оцінки небезпеки факторів, вплив яких може призвести до ДТП на ділянці автомобільної дороги, обладнаної захисною інженерною спорудою, та наслідків їх впливу

№ з/п	Найменування небезпечного фактору	Ранг значимості S	Ранг виникнення O	Ранг виявлення D	ПЧР
1	Дефекти конструкційних матеріалів, які виникли на етапі виготовлення	6	4	7	168
2	Корозійні дефекти, які виникли на етапі експлуатації	6	7	6	252
3	Снігове та вітрове навантаження	7	5	8	280
4	Дія сторонніх об'єктів, що призвела до руйнування захисного екрану	6	5	8	240
5	Порушення технологічного процесу встановлення захисного екрану	8	5	5	200
6	Ослаблення уваги водія внаслідок монотонності	6	5	8	240
7	Вплив частоти мелькання опорних конструкцій на водія	4	4	8	128
8	Помилка в оцінці дорожніх умов водієм внаслідок обмеженої видимості на перехресті	5	6	7	210

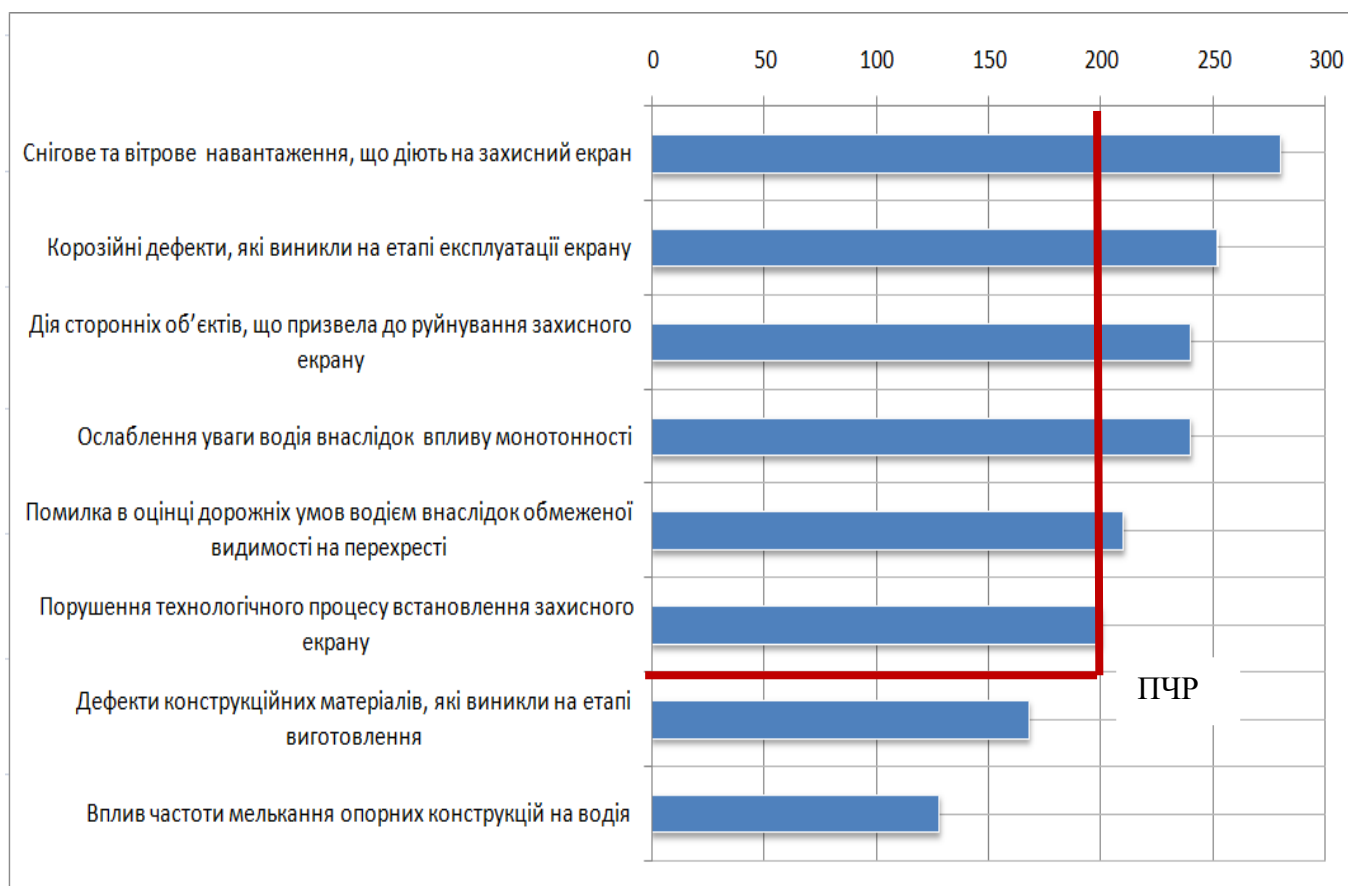


Рисунок 4.12 – Діаграма оцінки значимості досліджуваних факторів

4.6 Вимоги до розташування захисних інженерних споруд на ділянках автомобільної дороги

Задля досягнення максимально можливої ефективності захисту приміагістральної території, захисні інженерні конструкції повинні бути достатньо високими та простягатися на значну відстань уздовж сельбищної зони, забезпечуючи достатній розмір зони акустичної тіні. При цьому, державні будівельні норми [81] регламентують встановлення захисних інженерних споруд якомога ближче до автомобільної дороги за умови забезпечення безпеки дорожнього руху. В [112] зазначено, що захисні екрани мають бути встановлені на відстані, не більшої ніж 5-6 м від осі крайньої смуги проїзної частини.

На перехрестях, відповідно до вимог [113], видимість повинна бути забезпечена за умови відстані між сторонами трикутника видимості, що становить 150x150 м.

При влаштуванні захисної інженерної споруди важливо забезпечити щільність елементів з метою створення акустично непрозорої монолітної конструкції.

З метою попередження реалізації ДТП на ділянці автомобільної дороги, де встановлено захисний екран, необхідно забезпечити належну міцність конструкції з урахуванням можливих навантажень та впливів.

З метою попередження падіння захисного екрану, він має бути встановлений на самостійний фундамент та розрахований на вітрове, снігове та сейсмічне навантаження.

Снігове навантаження розраховується за наступними показниками [114]:

- граничне розрахункове значення;
- експлуатаційне розрахункове значення;
- квазіпостійне розрахункове значення.

Граничне розрахункове значення визначається як

$$S_m = \gamma_{fm} \cdot S_0 \cdot C, \quad (4.14)$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, визначається залежно від середнього періоду повторюваності та дорівнює 1,04;

S_0 – характеристичне значення снігового навантаження, в Па, визначається залежно від снігового району та становить для м. Харків 1600 Па;

C – коефіцієнт, який визначається за формулою

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt}, \quad (4.15)$$

де μ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на поверхню, залежно від кута нахилу становить 2,14;

C_e – коефіцієнт, що враховує вплив особливостей режиму експлуатації на накопичення снігу. Оскільки в конструкції захисного екрану передбачено заходи для відводу талої води, дорівнює 0,8;

C_{alt} - коефіцієнт, що враховує висоту розміщення об'єкту над рівнем моря, дорівнює 1.

Таким чином, граничне розрахункове значення снігового навантаження становитиме 2850 Па.

Експлуатаційне розрахункове значення снігового навантаження визначається за формулою [114]

$$S_e = \gamma_{fe} \cdot S_0 \cdot C, \quad (4.16)$$

де γ_{fe} - коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням снігового навантаження, визначається залежно від частки часу, протягом якої можуть порушуватися умови граничного стану, дорівнює 0,49. Тоді експлуатаційне розрахункове значення снігового навантаження дорівнюватиме 1342 Па.

Квазіпостійне розрахункове значення снігового навантаження розраховується як [114]

$$S_p = (0,4S_0 - \bar{S})C, \quad (4.17)$$

де $\bar{S} = 160$ Па, тоді $S_p = 822$ Па.

Вітрове навантаження відповідно до [114] визначається за наступними розрахунковими значеннями:

- граничне розрахункове навантаження;
- експлуатаційне розрахункове навантаження.

Гранично розрахункове вітрове навантаження визначається за формулою [114]

$$W_m = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C, \quad (4.18)$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження, що визначається залежно від середнього періоду повторюваності та приймається рівним 1;

W_0 - характеристичне значення вітрового тиску, визначається залежно від вітрового району та для м. Харкова становить 450 Па;

C - коефіцієнт, який визначається як

$$C = C_{aer} \cdot C_h \cdot C_{alt} \cdot C_{rel} \cdot C_{dir} \cdot C_d, \quad (4.19)$$

де C_{aer} – аеродинамічний коефіцієнт, що залежить від геометричної форми споруди та дорівнює 2;

C_h – коефіцієнт висоти споруди, дорівнює 1,25;

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, дорівнює 1;

C_{rel} – коефіцієнт рельєфу, для умов міської забудови дорівнює 1;

C_{dir} – коефіцієнт напрямку, що враховує нерівномірність вітрового навантаження, приймається 1;

C_d – коефіцієнт динамічності враховує вплив пульсаційної складової вітрового навантаження, дорівнює 1,05.

Тоді гранично розрахункове вітрове навантаження становитиме 1180 Па.

Експлуатаційне розрахункове навантаження визначається як

$$W_e = \gamma_{fe} \cdot W_0 \cdot C, \quad (4.20)$$

де γ_{fe} - коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням вітрового навантаження, визначається залежно від частки часу, протягом якої можуть порушуватися умови граничного стану, дорівнює 0,21. Тоді експлуатаційне розрахункове значення снігового навантаження дорівнюватиме 248 Па.

Таким чином, в результаті проведених розрахунків визначено граничні та експлуатаційні показники снігового та вітрового навантаження, які необхідно враховувати при проектуванні захисної інженерної конструкції.

З метою попередження зниження міцності металевих елементів захисного екрану їх необхідно оброблювати антикорозійним покриттям.

4.7 Заходи щодо покращення сприйняття захисних екранів водіями

Умови руху водія по ділянці автомобільної дороги, обладнаної з обох боків захисними інженерними спорудами, можна порівняти із умовами руху в тунелі, оскільки вони здійснюються в умовах певної обмеженості простору навколо автомобільної дороги. Однак вони є більш сприятливими, оскільки є безпосередній контакт із зовнішнім повітрям, що полегшує сприйняття дороги та зменшує навантаження на водія, який може відчувати певний дискомфорт в обмеженому просторі тунелю. Крім того, при цьому немає переходу між рівнями освітлення ззовні та в тунелі, що також складає більш сприятливі умови руху на даній ділянці автомобільної дороги.

В той же час, при русі автомобіля по автодорозі, обладнаній екранами, пильність уваги водія зменшується, що може стати передумовою створення аварійної ситуації не тільки на цій ділянці, але й на перехресті.

Брак інформації, яку водієві необхідно оброблювати при русі на ділянці, обладнаної захисним екраном, у поєднанні із мельканням його опор, може призвести водія до стану втоми, розслаблення, і, навіть, дрімоти [115].

Також слід враховувати, що суцільна конструкція захисного екрану сприймається як масивний об'єкт, що може змусити водія відхилитися від траєкторії прямолінійного руху та викликати ДТП або ускладнити дорожній рух [116].

У зв'язку з цим при проектуванні захисних інженерних споруд необхідно враховувати фактор сприйняття їх водієм та запроваджувати заходи, спрямовані на зменшення психологічного навантаження, що спричиняється ними.

Одним з можливих рішень є впровадження прозорих модулів в конструкцію екрану. З одного боку це, певною мірою, призводить до зниження ефективності захисту, але, з іншого боку, дає змогу зробити конструкцію візуально більш легкою та покращити її сприйняття водіями та пішоходами [117].

Опорні стійки, до яких монтуються модулі захисного екрану, при проїзді повз них на певній швидкості, можуть, завдяки своїй монотонності мелькання, втомлювати водія. У зв'язку з цим їх рекомендовано встановлювати на відстані не менш ніж 50 м одна від одної на прямолінійних ділянках автомобільної дороги [115].

На криволінійних ділянках відстань між ними залежить від радіусу кривої: із збільшенням радіусу збільшується відстань між стійками [115].

Кольорове оформлення захисної інженерної конструкції повинно бути виконане в нейтральних тонах, оскільки яскраве її пофарбування може призвести до перевантаження водія додатковою інформацією, яка є непотрібною для здійснення руху.

З метою покращення сприйняття можливим є фактурне оформлення поверхонь екрану, що розташовані в бік автомобільної дороги.

У великих містах з інтенсивним рухом транспортних засобів в потоці постає нагальна потреба в захисті мешканців приміагістральних територій від шкідливого впливу інгредієнтного та параметричного забруднення, що утворюються внаслідок руху автомобілів. Аналіз можливих шляхів вирішення цього питання показав доцільність використання захисних екранів, які мають ряд переваг перед іншими засобами захисту: по-перше, їх застосування можливе в умовах міської забудови, що вже склалася; по-друге, захисна ефективність екранів є високою як у відношенні до інгредієнтного забруднення приміагістральних територій (близько 50 – 60 %), так і відносно акустичних коливань, рівні звукового тиску яких знижуються майже на 10 - 18 дБ в середньо- та високочастотному діапазоні частот. Також слід зауважити, що комбінацією звукопоглинальних та звуковідбивних елементів можливо досягти максимального захисного ефекту в аспекті попередження розповсюдження акустичних коливань.

У- образна форма, що запропонована в роботі, обрана з міркувань зниження дифракційних явищ на кромках захисної інженерної споруди. Розрахунковим шляхом доведено, що використання захисних екранів такої форми дозволяє досягти аналогічного ефекту при меншій його висоті, що є позитивним моментом при застосуванні для захисту житлової забудови. Проведений розрахунок показав ефективність такої конструкції у порівнянні із екраном-стілкою на рівні 4,4 дБА.

Конструкція захисного екрану поєднує в собі звукопоглинальні та світлопрозорі модулі, які дозволяють не тільки знизити вторинні акустичні хвилі, а й забезпечити видимість шляху та приємний вигляд.

Крім захисних властивостей, конструкцією захисної інженерної споруди передбачено використання енергоефективних технологій живлення зовнішнього освітлення. Світильники пропонується розташовувати на елементах екрану, їх живлення здійснюватиметься від сонячних батарей, які розміщуються у верхній частині екрану.

З метою підвищення ефективності захисту примагістральної території від шкідливої дії забруднюючих речовин, які виділяються автотранспортними засобами з відпрацьованими газами, в конструкції захисного екрану пропонується використовувати матеріали з адсорбційними властивостями, які мають поглинальні властивості відносно хімічних забруднювачів.

Таким чином, запропонована конструкція захисної інженерної споруди комплексно вирішує питання захисту сельбищної зони, що розташована поблизу автомобільної дороги, від шкідливого впливу інгредієнтного та параметричного забруднення.

Встановлення захисних екранів уздовж певної ділянки автомобільної дороги може збільшити небезпеку руху по ній. Небезпечні фактори виникають як з боку самих захисних екранів, так і з боку водіїв завдяки збільшенню навантаження на їх психоемоційну сферу.

З метою визначення пріоритетних напрямів підвищення безпеки експлуатації ділянок автодоріг, обладнаних захисними інженерними конструкціями, проведено аналіз причин виникнення ДТП та ступеня їх впливу із використанням методу Failure Mode and Effects Analysis. Це дозволило визначити пріоритетні шляхи щодо застосування керуючих дій в напрямку попередження виникнення аварійної ситуації на ділянці автомобільної дороги, що обладнана захисними екранами.

Для попередження виникнення ДТП внаслідок падіння захисного екрану чи його окремих елементів на проїжджу частину, в розділі в результаті проведених інженерних розрахунків сформульовано вимоги щодо граничних та експлуатаційних по-

казників снігового та вітрового навантаження, які необхідно враховувати при проектуванні захисної інженерної конструкції.

Також розглянуто психофізіологічні аспекти сприйняття захисних екранів водія та запропоновано шляхи його поліпшення в аспекти кольорового оздоблення, регулювання частоти мелькання опор та застосування прозорих модулів.

Реалізація запропонованих рішень в конструкції захисного екрану та на етапі його встановлення дозволить підвищити безпеку експлуатації ділянок автомобільних доріг, обладнаних даними дорожніми спорудами.

ВИСНОВКИ

1. Інгрeдiєнтне забруднення придорожного простору населених пунктів залежить від складу автотранспортного потоку та факторів навколишнього середовища, причому вклад останнього, зокрема швидкість вітру в напрямку автомобільної дороги, є більш вагомим у порівнянні із складом автотранспортного потоку. Встановлено, що при куті між напрямом вітру та віссю дороги, який дорівнює 90° , концентрація шкідливих речовин є мінімальною. Наявність щільної забудови на вулицях мегаполісів призводить до утворення так званого коридору, що обумовлює накопичення шкідливих речовин, які містяться у викидах відпрацьованого палива, що несприятливо впливає на прилеглу сельбищну територію та може викликати погіршення самопочуття та підвищення рівнів захворюваності її мешканців.

2. Для оцінки концентрації забруднюючих речовин в зоні впливу автомобільної дороги проведено розрахунок концентрації шкідливих речовин залежно від складу автотранспортного потоку та швидкості і напрямку вітру. Шляхом математичного моделювання забруднення навколишнього середовища визначено, що збільшення кількості вантажних транспортних засобів в чотири рази призводить до зростання концентрації шкідливих речовин, що містяться у викидах відпрацьованого палива, поблизу автомобільної дороги в середньому на 35 %. Встановлено, що на ступінь інгрeдiєнтного забруднення повітряного середовища зони впливу автомобільної дороги в найбільшій мірі впливає швидкість вітру.

3. Отримано дані акустичного впливу автомобільних доріг з різною інтенсивністю руху транспортних потоків на навколишнє середовище, що стали основою формування математичних залежностей для прогнозування можливих рівнів шуму. Досліджено шумовипромінювання одиночних автомобілів та їх поєднань в потоці, отримано орієнтовні рівні шуму різних типів транспортних засобів.

4. Отримано математичні залежності для визначення можливих рівнів шуму безпосередньо транспортного потоку та на певній відстані від нього за рахунок представлення автомобільної дороги як лінійного джерела руху. Суттєвими перевагами отриманих математичних залежностей є те, що вони дозволяють з достатньою

точністю (близько 6 %) отримати значення рівнів шуму лише за даними інтенсивності транспортного потоку при встановленій швидкості руху.

5. Для захисту навколишнього середовища, зокрема сельбищної зони та об'єктів з особливими вимогами до якості атмосферного повітря, розташованих біля автомобільної дороги, запропоновано застосування захисної інженерної споруди Y-образного профілю, яка поєднує в собі прозорі та звукопоглинальні модулі.

Розрахунок загасання акустичних хвиль на кромках захисної інженерної конструкції показав, що Y-образний профіль захисного екрану дозволяє зменшити його висоту при збереженні захисних властивостей, що є суттєвою перевагою для захисту багатоповерхової забудови.

Запропонована конструкція захисної інженерної споруди може бути доповнена світильниками зовнішнього освітлення, живлення яких передбачено від сонячних батарей, розташованих у верхній частині захисної споруди. Це дозволить не тільки захистити примігстральну територію від інгредієнтного та параметричного забруднення, але й запровадити енергоефективну систему зовнішнього освітлення.

6. Модульна конструкція захисної інженерної споруди передбачає поєднання прозорих та звукопоглинальних модулів, причому наповнювач звукопоглинальних модулів пропонується обирати виходячи не тільки з звукоізоляційних, але й з адсорбційних властивостей, що дозволить знизити інгредієнтне та параметричне навантаження не тільки на примігстральні території, але й на водіїв.

Акустична ефективність запропонованої конструкції Y-образного захисного екрану у порівнянні із екраном – стінкою становить близько 4,4 дБА.

Проведено аналіз небезпеки виникнення дорожньо-транспортних пригод на ділянках автомобільних доріг, обладнаних захисними спорудами. В результаті проведеного аналізу та відповідних інженерних розрахунків сформульовані граничні та експлуатаційні вимоги стосовно вітрового та снігового навантаження на захисний екран, а також розглянуті питання щодо підвищення естетичності його сприйняття.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посібник / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В.Зеркалов, А.Г. Говорун [та ін.]. – К. : Арістей, 2006. – 292 с.
2. Экологические проблемы автомобильного транспорта : учеб. пособие / Е.А. Захаров, С.Н. Шумский. – Волгоград : ВолгГТУ, 2007. – 107 с.
3. Экологическая безопасность транспортных средств : учеб. пособие / В.С. Морозова, В.Л. Поляцко. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 154 с.
4. Автотранспортные потоки и окружающая среда : учеб. пособие для вузов / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, Ю.В. Трофименко ; под ред. В.Н. Луканина – М.: ИНФРА-М, 1998. – 408 с.
5. Пляцук Л.Д. Оцінка викидів шкідливих речовин від автотранспортних засобів / Л.Д. Пляцук, Р.А. Васькін, В.О. Соляник [та ін.] // Екологічна безпека. – Вип. 2/2011 (12). – Кременчуг: КрНУ, 2011. – С. 116–118.
6. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) : Правила № 201) [Чинний від 1997–07–09]. – К., 1997. – 28 с.
7. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря в Ужгороді та його вплив на поширеність хвороб органів дихання серед дітей [зб. наук. пр.] / В.П. Маркович, В.І. Петричко, В.В. Орел. – Вип. 59. – К.: Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзеєва АМН України», 2012. – С. 57–62.
8. Вплив хімічного забруднення атмосферного повітря на онкологічну захворюваність населення [зб. наук. пр.] / О.В. Швагер, О.М. Литвиченко, І.О.Черниченко. – Вип. 58. – К.: Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзеєва АМН України», 2011. – С. 136–142.
9. Деякі аспекти канцерогенної небезпеки забруднення повітря житлових приміщень [зб. наук. пр.] / І.О. Черниченко, Н.О. Зінченко, Н.В. Баленко, Л.С. Соверткова. – Вип. 55. – К.: Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзеєва АМН України», 2010. – С. 145–150.

10. Ще раз про роль автотранспорту в забрудненні атмосферного повітря [зб. наук. пр.] / І.О. Черниченко, Я.В. Першегуба, Л.С. Соверткова, Н.В. Баленко. – Вип. 55. – К.: Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва АМН України», 2010. – С. 150–157.
11. Особливості формування канцерогенного ризику для населення, що проживає в зоні впливу автомагістралі [зб. наук. пр.] / І.О. Черниченко, Я.В. Першегуба, О.М. Литвиченко, О.В. Швагер. – Вип. 56 – К.: Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва АМН України», 2010. – С. 159–167.
12. Полищук С.З. Оценка проникновения вредных веществ от автотранспорта с приточным воздухом в помещения / С.З. Полищук, И.Л. Ветвицкий, А.И. Кораблева [та ін.] // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. 4 (2009). – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2009. – С. 47 – 52.
13. Gergely Balazs Noise mapping – Good Practice Guide [Електронний ресурс] / Gergely Balazs // The European Information and Resource Center. – 2009. – Режим доступу: <http://www.xs4all.nl/~rigolett/ENGELS/eu/index.htm> – Назва з екрану. – Дата звернення: 12.12.2014.
14. Europa: Gateway to the European Union [Електронний ресурс] // Official website of the European Union. – 2013. – Режим доступу: http://europa.eu/index_en.htm – Назва з екрану. – Дата звернення: 04.02.2014.
15. Strategic Noise Mapping Austria [Електронний ресурс] // Abteilung Verkehr, Mobilität, Siedlungswesen und Lärm Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. – 24.06.2008. – Режим доступу: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ed705_02.htm – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.12.2014.
16. Murphy E. Environmental Noise Pollution, Noise Mapping, Public Health and Policy // Murphy E., King E. – University of Hartford, CT, Elsevier Inc., 2014 y. – 282 p.
17. James P. Chambers. Noise Pollution / Chambers James P. // Advanced Air and Noise Pollution Control. – 2005. - Volume 2. – pp 441-452.
18. Traffic and Environment / [D. Gruden, W. Berg, K. Bormann et al.]. – Luxemburg, Springer, 2011 y. – 294 p.

19. Environmental impact from different modes of transport – Method of comparison [Electronic resource]. – Electronic data. – [Stockholm : Swedish environmental protection agency report, 2009]. – 65 p. – Mode of access: World Wide Web: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5183-0.pdf> (viewed on July, 23, 2014). – Title from screen.
20. Alimohammadi I. The effects of road traffic noise on mental performance [Electronic resource] / Alimohammadi I., Soltani R., Sandrock S. // Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. – Electronic data. – [BioMed Central, 2013]. – Vol. 5. – Mode of access: World Wide Web: <http://jehse.biomedcentral.com/articles/10.1186/1735-2746-10-18> (viewed on February, 15, 2014). – Title from screen.
21. Шейкіна Ю.О. Акустичне забруднення селітебного середовища міста від транспортних потоків / Ю.О. Шейкіна, О.О. Мислюк // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського : зб. наук. пр. / Кременчуцький держ. політехн. ун-т ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2007. – Вип. 5/2007 (46). Частина 1. – С. 144–147.
22. Семашко П.В. Гігієнічна оцінка підземних паркінгів як потенційних джерел акустичного забруднення прилеглих до них територій житлової забудови / П.В. Семашко, С.В. Протас // Довкілля та здоров'я : наук. журн. / Інститут гігієни та мед. екол. ім. О.М. Марзєєва. – 2010. – Вип. 2 (53). – С. 23–27.
23. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП 173-96. [Чинний від 1996-06-19]. – Київ : Мінохорони праці України, 1996. – 25 с. – (Національний стандарт України).
24. Норми і методи вимірювань димності у відпрацьованих газах автомобілів з дизелями або газодизелями : ДСТУ 4276:2004. [Чинний від 2004-01-31]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2004. – 18 с. – (Національний стандарт України).
25. Стандарты Euro и Stage для дизельных двигателей [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://rentenergo.ru/news/novinki-na-ryinke/standartyi-euro-i-stage-dlya-dizelnyih-dvigatel> – Назва з екрану. – Дата звернення: 03.01.2015.

26. Transport & Environment [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/road.htm> – Назва з екрану. – Дата звернення: 04.01.2015.
27. Сводная резолюция о конструкции транспортных средств : (СР.3) ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2 [Чинний від 2011–06–30]. – Женева, 2011. – 96 с.
28. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) : ДСП-201–97 [Чинний від 1997–07–09]. – К., 1997. – 17 с.
29. Шум. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [Чинний від 1983–06–06]. – М., 1983. – 13 с.
30. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів категорій L2, L4 та L5 стосовно створюваними ними шуму (UN/ECE R 9–06:1997, IDT) : ДСТУ UN/ECE R 9–06:2004 [Чинний від 2005–10–01]. – К., 2005. – 28 с.
31. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження мотоциклів, стосовно створюваного ними шуму (UN/ECE R 41–03:2000, IDT) : ДСТУ UN/ECE R 41–03:2005 [Чинний від 2007–07–01]. – К., 2007. – 55 с.
32. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автотранспортних засобів, що мають не менше ніж чотири колеса, стосовно створюваними ними шуму (UN/ECE R 51–02:1996, IDT) : ДСТУ UN/ECE R 51–02:2004 [Чинний від 2006–01–01]. – К., 2004. – 36 с.
33. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження двоколісних мопедів стосовно створюваними ними шуму (UN/ECE R 63–01:1985, IDT) : ДСТУ UN/ECE R 63–01:2004 [Чинний від 2006–01–01]. – К., 2004. – 27 с.
34. Прищепов О.Ф., Левицька О.С. Методика дослідження процесів розсіювання забруднюючих речовин в повітрі, деформованому рухом транспорту / О.Ф. Прищепов, О.С. Левицька. – Техногенна безпека. Наукові праці. – Т. 73. – Вип. 60. – С. 62–65.
35. Внукова Н.В. Вибір екологічно значимих параметрів автотранспортних систем для оцінки екологічної небезпеки придорожнього простору / Н.В. Внукова, Г.М. Желновач // Екологічна безпека. – Вип. 2/2011 (12). – Кременчуг: КрНУ, 2011. – С. 119–123.

36. Дорожно-транспортная экология : учеб. пособие / [Е.В. Бондаренко, Г.П. Дворников] ; под редакцией А.А. Цыцурь. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 113 с.
37. Бабій В.Ф., Худова В. М., Кондратенко О.Є., Пономаренко А.М. Вплив транспортних чинників на екологічний стан великих міст [зб. наук. пр.] / В. Ф. Бабій, В. М. Худова, О. Є. Кондратенко, А. М. Пономаренко. – Вип. 58. – К.: Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології ім. О. М. Марзєєва АМН України", 2011. – С. 57–60.
38. Організація моніторингового дослідження забруднення повітря автотранспортом у Деснянському районі м. Києва [зб. наук. пр.] / О.В. Безкровна, В.П. Скопенко. – Вип. 57. – К.: Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва АМН України", 2011. – С. 72–76.
39. Екологічна оцінка автотранспорту міста за показниками кількості викидів шкідливих речовин [зб. наук. пр.] / В.Ф. Бабій, В.М. Худова, О.Є. Кондратенко, С. М. Тимошенко. – Вип. 56. – К.: Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва АМН України", 2010. – С. 37–40.
40. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада ; под ред. М.Я. Блинкина. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.
41. Berglund B. Guidelines for community noise / B. Berglund, T.L. Dietrich, H. Schwela. – Geneva : World Health Organization, 2011 y. – 160 p.
42. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
43. Экологические проблемы автомобильного транспорта в городах : учеб. пособие / В.Л. Жданов. – Кемерово : КузГТУ, 2012. – 190 с.
44. Daley B. Air Transport and the Environment: Ashgate Farnham / B. Daley. – Surrey, 2010. – 255 p.
45. Gruden D. Umweltschutz in der Automobilindustrie: Motor, Kraftstoffe, Recycling: Vieweg+Teubner / D. Gruden. – Wiesbaden : GWV Fachverlage GmbH, 2008. – 423 p.
46. Schwela D., Zali O. Urban Traffic Pollution / D. Schwela, O. Zali. – London, E&FN Spon 1999. – 232 p.

47. Білятинський О.А. Проектування автомобільних доріг : підручник у 2 ч. / О.А. Білятинський [та ін]. – К. : Вища школа, 1998. – 320 с.
48. Носырев Д.Я., Скачкова Е.А. Расчет выбросов вредных веществ от стационарных и подвижных источников / Д.Я. Носырев, Е.А. Скачкова. – Самара : СамГАПС, 2014. – 112с.
49. Екологічна оцінка перетинів міських магістралей у різних рівнях: навчальний посібник / М.М. Осетрін, Б.В. Солуха, Т.О. Шилова та ін. – К.: КНУБА, 2010. – 108 с.
50. Пospelов П.И. Борьба с шумом на автомобильных дорогах / П.И. Пospelов. – М.: Транспорт, 1981. – 88 с.
51. Самойлюк Е.П. Борьба с шумом в градостроительстве / Е.П. Самойлюк. – Киев : Будивельник, 1975. – 128 с.
52. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.
53. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко ; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высшая школа, 2003. – 273 с.
54. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій : ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 46 с.
55. Базаров Б.И. Экологическая безопасность автотранспортных средств / Б.И. Базаров. – Вид. 2-ге. – Ташкент: ТАДИ, 2007. – 104 с.
56. Аксенов И.Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И.Я. Аксенов, В.И. Аксенов. – М.: Транспорт, 1986. – 176 с.
57. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов : учеб. пособие / Э.А.Сафронов. – Издательство АСВ. – М., 2011. – 272 с.
58. Угненко Є.Б., Ужвієва О.М. Удосконалення методу обґрунтування будівництва обходів населених пунктів з урахуванням екологічних показників : монографія / Є.Б. Угненко, О.М. Ужвієва; Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-т. - Харків : ХНАДУ, 2014. - 135 с.

59. Средства и методы защиты от шума. Классификация : ГОСТ 12.1.029–80. ССБТ [Чинний від 1981–07–01]. – М., 1981. – 3 с.
60. Данова В.В. Акустичні та архітектурно-планувальні засоби зниження транспортного шуму / К.В. Данова, В.В. Данова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 53. – С. 253–257.
61. Данова В.В. Вплив транспортного шуму на людину та шляхи його зниження / К.В. Данова, В.В. Данова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 55. – С. 270–273.
62. Малишева В.В. Захист сельбищної зони від шуму транспортної магістралі акустичними методами / М.В. Хворост, С.А. Грязнова, В.В. Малишева // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – № 4 (41). – С. 79–81.
63. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті : Наказ Міністерства транспорту України [Чинний від 1998–02–10]. – К., 1998. – 15 с.
64. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності [Чинний від 2000–09–06]. – К., 2000. – 24 с.
65. Рекомендації із забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг за напрямками міжнародних транспортних коридорів відповідно до європейських стандартів : РВ 2.3-218-02071168-525:2006 [Чинний від 2006–06–01]. – К., 2006. – 25 с.
66. Мокін Б.І. Методологія та організація наукових досліджень : навч. пос. / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 180 с.
67. Засоби транспортні дорожні. Типи. Терміни та визначення : ДСТУ 2984–95 [Чинний від 1996–01–01]. – К., 1995. – 5 с.
68. Методика досліджень та оцінки шумового навантаження : М 218-03449261-258-2004 [Чинний від 2004–04–23]. – К., 2004. – 18 с.
69. Апостолук С.О. Промислова екологія / С.О. Апостолук, В.С. Джигирей, І.А. Соколовський. – Київ : Знання, 2012. – 430 с.

70. Шевченко В.С. Математичні моделі шуму транспортних потоків / В.С. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вип. 4/4 (70). – С. 47-51.
71. Поліщук В.П. Організація та регулювання дорожнього руху : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.П. Поліщук, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба та ін. – Київ : Знання, 2014. – 467 с.
72. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения / Ю.А. Врубель. – Минск, Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 634 с.
73. Булавина Л.В. Экспериментальное изучение характеристик транспортного и пешеходного движения : учебное электронное текстовое издание [Электронный ресурс] / Л.В. Булавина. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. – 28 с. Режим доступа: <http://www.urfu.ru> – Назва з екрану. – Дата звернення: 12.12.2014.
74. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в харківській області у 2014 році / [Електронний ресурс] // Департамент екології та природних ресурсів Харківської обласної державної адміністрації. – 2014. – Режим доступу: <http://ecodepart.kh.gov.ua/diialnist/dopovid-pro-stan-navkolyshnoho-seredovyschcha-pryrodnoho-seredovyschcha-v-kharkivskii-oblasti-u-2014-rotsi> – Назва з екрану. – Дата звернення: 05.05.2015.
75. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов : ГОСТ 17.2.3.01-86 [Чинний від 1987-01-01]. – М., 1987. – 4 с.
76. Основы теории транспортных систем : учеб. пос. / П.Ф. Горбачев, И.А. Дмитриев. – Х. : Изд-во ХНАДУ, 2002. – 202 с.
77. Маркин Н.С. Основы теории обработки результатов измерений / Н.С. Маркин. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 176 с.
78. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений : ГОСТ 8.207-76 [Чинний від 1977-01-01]. – М., 1976. – 8 с.
79. Захист територій, будинків і споруд від шуму : ДБН В.1.1-31:2013 [Чинний від 2014-06-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України. – 54 с.
80. Защита от шума (Из змінами відповідно до наказу Держбуду України від 29.01.2003 р. № 7) : СНиП II-12-77 [Чинний від 1977-06-14]. – М., 1977. – 9 с.

81. Захист територій, будинків і споруд від шуму : ДБН В.1.1-31:2013 [Чинний від 2014–06–01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 54 с.
82. Евгеньев Г.И. Применение шумозащитных экранов на автомобильных дорогах США [Электронный ресурс] : под ред. Евгеньева Г.И. // Автомобильные дороги и мосты: Обзорная информация. – Вып. 5. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам», 2005. Режим доступа: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/56/56231/index.htm#i45589> – Назва з екрану. – Дата звернення: 12.12.2014.
83. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій : ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [Чинний від 2014-01-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України. – 36 с.
84. Основы акустики : навч. посібник / [Грінченко В.Т., Вовк І.В., Мацапура В.Т.]. – К.: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2007. – 640 с.
85. Abatement of traffic noise - the arguments for asphalt [Electronic resource]. – Electronic data. – [Belgium, European Asphalt Pavement Association, 2007] – 24 p. – Mode of access: world Wide Web: http://www.eapa.org/usr_img/position_paper/abatement_traffic_noise2007.pdf (viewed on January, 18, 2014). – Title from screen.
86. Шубин И.Л. Акустический расчет и проектирование конструкций шумозащитных экранов : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01 / И.Л. Шубин. – М., 2011. – 47 с.
87. Zámečník J. Noise barriers / J. Zámečník // Nova Biotechnologica. – 2005. – № V-I. – С. 167–172.
88. Farina A. Sound Propagation Outdoor: Comparison between Numerical Previsions and Experimental Results / A. Farina, L.Maffei [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.angelifarina.it/Public/Papers/065-CA95.PDF> – Назва з екрану. – Дата звернення: 03.02.2015.

89. Sarigul-Klijn N. Random and periodic square wave barriers in noise control / N. Sarigul-Klijn, D. Karnopp // NOISE-CON 2000, December 03–05, Newport Beach, California. – Newport Beach, 2000. – C. 128–144.
90. Parzych D. Handling of Barriers in ISO 9613–2 / D. Parzych // NOISE-CON 2004, July 12–14, Baltimore, Maryland. – Baltimore, Maryland, 2004. – C. 45–54.
91. Egan C. An investigation of the use of top edge treatments to enhance the performance of a noise barrier using the boundary element method / C.A. Egan, V Chilekwa, D. J. Oldham // The thirteenth International Congress on Sound and Vibration, July 2–6, 2006, Vienna. – Vienna, 2006. – C. 103–111.
92. US 5671685 A Acoustic barrier, particularly for railway superstructures / Stefano Ughi (USA). – № US 08/607,084.
93. US 7070848 B2 Vehicle acoustic barrier / Michael T. Campbell (USA). – № US 10/274,769.
94. WO 2010151533 A3 Sound barrier for audible acoustic frequency management / Ali Berker, Joon Chatterjee, Richard W. Greger, Ep Lesuffleur Marie Alosyna, Sanat Mohanty (USA). – № PCT/US2010/039470.
95. US 4330046 A Sound barrier / Armand Lerner, Sylvain S. Lerner (USA). – № US 06/277,676.
96. US 4643271 A Sound barrier / David E. Coburn / (USA). – № US 06/683,230.
97. US 4674593 A Sound barrier fence / Danny W. McCarty / (USA). – № US 06/718,935.
98. US 7,220,077 B2 Traffic noise barrier system / Eric C. Humphries, Stephen D. Barratt, Ronald K. Faller, Keith J. Kurz / (USA). – № US 200510265780 A1.
99. WO 1996016230 A1 Acoustic barrier / Lazer Berelovich, Morris Wail / (USA). – № PCT/AU1995/000748.
100. AU785453 (B2). A sound barrier / Kerry John McManus, Zbigniew Adam Krezel / (Australia). – № AU785453 (B2)
101. US 4702046 A Acoustical wall panel / Per Haugen, Harold M. Haugen, Ingolf J. C. De Jong (USA). – № US 06/796,111.
102. US 2192653 A Acoustic construction / Eduard Schenk (USA). – № US2192653 A.

103. US 7913812 B2 Composite sound barrier panel / Eduard Schenk (USA). – № US 11/842,718.
104. Шум. Затухання звуку під час розповсюдження на місцевості. Частина 2. Загальний метод розрахування : ДСТУ ГОСТ 31295.2:2007 (ИСО 9613–2:1996) [Чинний від 2008–04–01]. – К., 2008. – 23 с.
105. Юдин Е.Я. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн [и др.] ; под общ. ред. Е.Я. Юдина. – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.
106. Матеріали та вироби будівельні звукопоглинальні і звукоізоляційні. Класифікація й загальні технічні вимоги : ДСТУ Б В.2.7–183:2009 [Чинний від 2010–08–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 38 с.
107. Осипов Л.Г. Звукоизоляция и звукопоглощение: уч. пос. для студентов ВУЗов / Л.Г. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов [и др.] ; под ред. Г.Л. Осипова, В. Н. Бобылева. – М. : ООО «Издательство Астрель», 2004. – 450 с.
108. Кузнецов Б.Н. Синтез и применение углеродных сорбентов / Б.Н. Кузнецов // Соросовский образовательный журнал. – ISSEP, 1999. – Вып. 12. – С. 29–34.
109. ECSS-Q-ST-30-02C Failure modes, effects (and criticality) analysis (FMEA/FMECA) / Space product assurance // ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, The Netherlands. – 2009. – Режим доступу: <http://everyspec.com/ESA/download.php?spec=ECSS-Q-ST-30-02C.048273.pdf> – Назва з екрану. – Дата звернення: 15.07.2015.
110. Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA). – 2011. – Режим доступу: http://www.new-quality.ru/lib/FMEA_new-quality.pdf – Назва з екрану. – Дата звернення: 25.07.2015.
111. Рябушенко О.В. Аналіз методів оцінки ризиків дорожньо-транспортних пригод / О.В. Рябушенко // Вісник НТУ «ХПІ». – Вип. 38 (1011). – Харків: ХПІ, 2013. – С. 191–197.
112. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування : ГБН В.2.3-218-007:2012 [Чинний від 2012–10–01]. – К. : Укравтодор, 2012. – 45 с.

113. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану : ДСТУ 3587-97 [Чинний від 1997-07-31]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 23 с.
114. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006 [Чинний від 2007-09-01]. – К.: Мінбуд, 2006. – 75 с.
115. Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог: Учебное пособие для автомобильно-дорожных вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980 – 189 с.
116. Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування : ГБН В.2.3-37641918-556:2015 [Чинний від 2015-12-01]. – К.: Мінінфраструктури України, 2015. – 30 с.
117. Environmental Barriers: Technical Requirements / Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) : HA 66/95, part 2 [Чинний від вересень 1995]. – Режим доступу: <http://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol10/section5/ha6695.pdf>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 27.07.2015.

Таблиця А.1 – Норми викидів транспортних засобів категорії М із дизельним двигуном, г/км

Рівень Euro	Рік введення в дію	Оксид вуглецю CO	Вуглеводні сполуки THC	Неметанові вуглеводні NMHC	Оксиди азоту NO _x	Вуглеводень у поєднанні із оксидами азоту HC+NO _x	Тверді частки PM
1	1992 р.	2,72	-	-	-	0,97	0,14
2	1996 р.	1,0	-	-	-	0,7	0,08
3	2000 р.	0,64	-	-	0,5	0,56	0,05
4	2005 р.	0,5	-	-	0,25	0,3	0,025
5	2009 р.	0,5	-	-	0,18	0,23	0,005
6	2015 р. (планується)	0,5	-	-	0,08	0,17	0,005

Таблиця А.2 – Норми викидів транспортних засобів категорії М із бензиновим двигуном, г/км

Рівень Euro	Рік введення в дію	Оксид вуглецю CO	Вуглеводні сполуки THC	Неметанові вуглеводні NMHC	Оксиди азоту NO _x	Вуглеводень у поєднанні із оксидами азоту HC+NO _x	Тверді частки PM
1	1992 р.	2,72	-	-	-	0,97	-
2	1996 р.	2,2	-	-	-	0,5	-
3	2000 р.	2,3	0,2	-	0,15	-	-
4	2005 р.	1,0	0,1	-	0,08	-	-
5	2009 р.	1,0	0,1	0,068	0,06	-	0,005
6	2015 р. (планується)	1,0	0,1	0,068	0,06	-	0,005

Таблиця А.3 – Норми викидів транспортних засобів категорії N₂ із дизельним двигуном, г/км

Рівень Euro	Рік введення в дію	Оксид вуглецю CO	Вуглеводні сполуки THC	Неметанові вуглеводні NMHC	Оксиди азоту NO _x	Вуглеводень у поєднанні із оксидами азоту HC+NO _x	Тверді частки PM
1	1992 р.	6,9	-	-	-	1,7	0,25
2	1996 р.	1,5	-	-	-	1,2	0,17
3	2000 р.	0,95	-	-	0,78	0,86	0,1
4	2005 р.	0,74	-	-	0,39	0,46	0,06
5	2009 р.	0,74	-	-	0,28	0,35	0,005
6	2015 р. (планується)	0,74	-	-	0,125	0,215	0,005

Таблиця А.4 – Норми викидів транспортних засобів категорії N₂ із бензиновим двигуном, г/км

Рівень Euro	Рік введення в дію	Оксид вуглецю CO	Вуглеводні сполуки THC	Неметанові вуглеводні NMHC	Оксиди азоту NO _x	Вуглеводень у поєднанні із оксидами азоту HC+NO _x	Тверді частки PM
1	1992 р.	6,9	-	-	-	1,7	-
2	1996 р.	5,0	-	-	-	0,7	-
3	2000 р.	5,22	0,29	-	0,21	-	-
4	2005 р.	2,27	0,16	-	0,11	-	-
5	2009 р.	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,05
6	2015 р. (планується)	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,05

Таблиця Б.1 – Залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються переважно вантажним автотранспортним потоком, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 30^\circ$

№ з/п	Шкідлива речовина	Сумарна концентрація, мг/м ³ , при $\varphi = 30^\circ$ на відстані, м при швидкості вітру 3 м/с							
		10	20	40	60	80	100	150	200
1	Оксид вуглецю CO	0,853368	0,426684	0,284456	0,213342	0,170674	0,131287	0,089828	0,071114
2	Діоксид азоту NO ₂	0,174635	0,087318	0,058212	0,043659	0,034927	0,026867	0,018383	0,014553
3	Діоксид сірки SO ₂	0,021732	0,010866	0,007244	0,005433	0,004346	0,003343	0,002288	0,001811
4	НЛОС	0,110961	0,055480	0,036987	0,027740	0,022192	0,017071	0,011680	0,009247
5	Оксид азоту N ₂ O	0,001071	0,000535	0,000357	0,000268	0,000214	0,000165	0,000113	0,000089
6	Сажа	0,031807	0,015904	0,010602	0,007952	0,006361	0,004893	0,003348	0,002651

Таблиця Б.2 – Залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються переважно вантажним автотранспортним потоком, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 60^\circ$

№ з/п	Шкідлива речовина	Сумарна концентрація, мг/м ³ , при $\varphi = 60^\circ$ на відстані, м при швидкості вітру 3 м/с							
		10	20	40	60	80	100	150	200
1	Оксид вуглецю CO	0,49044	0,24522	0,16348	0,12261	0,09809	0,07545	0,05163	0,04087
2	Діоксид азоту NO ₂	0,10037	0,05018	0,03346	0,02509	0,02007	0,01544	0,01056	0,00836
3	Діоксид сірки SO ₂	0,01249	0,00624	0,00416	0,00312	0,00250	0,00192	0,00131	0,00104
4	НЛОС	0,06377	0,03189	0,02126	0,01594	0,01275	0,00981	0,00671	0,00531
5	Оксид азоту N ₂ O	0,00062	0,00031	0,00021	0,00015	0,00012	0,00009	0,00006	0,00005
6	Сажа	0,01828	0,00914	0,00609	0,00457	0,00366	0,00281	0,00192	0,00152

Таблиця Б.3 – Залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються переважно вантажним автотранспортним потоком, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 90^\circ$

№ з/п	Шкідлива речовина	Сумарна концентрація, мг/м ³ , при $\varphi = 90^\circ$ на відстані, м при швидкості вітру 3 м/с							
		10	20	40	60	80	100	150	200
1	Оксид вуглецю CO	0,426684	0,213342	0,142228	0,106671	0,085337	0,065644	0,044914	0,035557
2	Діоксид азоту NO ₂	0,087318	0,043659	0,029106	0,021829	0,017464	0,013433	0,009191	0,007276
3	Діоксид сірки SO ₂	0,010866	0,005433	0,003622	0,002717	0,002173	0,001672	0,001144	0,000906
4	НЛОС	0,055480	0,027740	0,018493	0,013870	0,011096	0,008535	0,005840	0,004623
5	Оксид азоту N ₂ O	0,000535	0,000268	0,000178	0,000134	0,000107	0,000082	0,000056	0,000045
6	Сажа	0,015904	0,007952	0,005301	0,003976	0,003181	0,002447	0,001674	0,001325

Таблиця Б.4 – Залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються переважно вантажним автотранспортним потоком, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 30^\circ$

№ з/п	Шкідлива речовина	Сумарна концентрація, мг/м ³ , при $\varphi = 30^\circ$ на відстані, м при швидкості вітру 1 м/с							
		10	20	40	60	80	100	150	200
1	Оксид вуглецю CO	2,560103	1,280051	0,853368	0,640026	0,512021	0,393862	0,269484	0,213342
2	Діоксид азоту NO ₂	0,523906	0,261953	0,174635	0,130977	0,104781	0,080601	0,055148	0,043659
3	Діоксид сірки SO ₂	0,065196	0,032598	0,021732	0,016299	0,013039	0,010030	0,006863	0,005433
4	НЛОС	0,332882	0,166441	0,110961	0,083220	0,066576	0,051213	0,035040	0,027740
5	Оксид азоту N ₂ O	0,003213	0,001606	0,001071	0,000803	0,000643	0,000494	0,000338	0,000268
6	Сажа	0,095422	0,047711	0,031807	0,023856	0,019084	0,014680	0,010044	0,007952

Таблиця Б.5 – Залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються переважно вантажним автотранспортним потоком, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 60^\circ$

№ з/п	Шкідлива речовина	Сумарна концентрація, мг/м ³ , при $\varphi = 60^\circ$ на відстані, м при швидкості вітру 1 м/с							
		10	20	40	60	80	100	150	200
1	Оксид вуглецю CO	1,47132	0,73566	0,49044	0,36783	0,29426	0,22636	0,15488	0,12261
2	Діоксид азоту NO ₂	0,30110	0,15055	0,10037	0,07527	0,06022	0,04632	0,03169	0,02509
3	Діоксид сірки SO ₂	0,03747	0,01873	0,01249	0,00937	0,00749	0,00576	0,00394	0,00312
4	НЛОС	0,19131	0,09566	0,06377	0,04783	0,03826	0,02943	0,02014	0,01594
5	Оксид азоту N ₂ O	0,00185	0,00092	0,00062	0,00046	0,00037	0,00028	0,00019	0,00015
6	Сажа	0,05484	0,02742	0,01828	0,01371	0,01097	0,00844	0,00577	0,00457

Таблиця Б.6 – Залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються переважно вантажним автотранспортним потоком, від відстані до проїзної частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 90^\circ$

№ з/п	Шкідлива речовина	Сумарна концентрація, мг/м ³ , при $\varphi = 90^\circ$ на відстані, м при швидкості вітру 1 м/с							
		10	20	40	60	80	100	150	200
1	Оксид вуглецю CO	1,28005	0,64003	0,42668	0,32001	0,25601	0,19693	0,13474	0,10667
2	Діоксид азоту NO ₂	0,26195	0,13098	0,08732	0,06549	0,05239	0,04030	0,02757	0,02183
3	Діоксид сірки SO ₂	0,03260	0,01630	0,01087	0,00815	0,00652	0,00502	0,00343	0,00272
4	НЛОС	0,16644	0,08322	0,05548	0,04161	0,03329	0,02561	0,01752	0,01387
5	Оксид азоту N ₂ O	0,00161	0,00080	0,00054	0,00040	0,00032	0,00025	0,00017	0,00013
6	Сажа	0,04771	0,02386	0,01590	0,01193	0,00954	0,00734	0,00502	0,00398

Таблиця В.1 – Результати вимірів рівнів

шуму по вул. Академіка Павлова

StartTime	30-07- 2014,9:07:00
Max	82.0
Min	55.5
Average	67,75

ID	Value, dBA
1	67,7
2	65,3
3	64
4	62
5	61,1
6	61,8
7	63,8
8	68,5
9	71,2
10	69,6
11	67,9
12	68,7
13	68,1
14	67,2
15	68,3
16	71,4
17	71,6
18	73,2
19	74,2
20	74,9
21	72,6
22	72,2
23	71
24	70,1
25	71,2
26	70,9
27	70,2
28	70,4
29	69,6
30	69,3
31	67,5
32	65,5
33	66,3
34	67,7
35	69,4
36	73,2
37	77,2
38	76,2
39	72,4
40	71,2
41	71,6
42	69,4
43	66,5
44	66,6

Таблиця В.2 – Результати вимірів рівнів

шуму по вул. Салтівське шосе

StartTime	01-08- 2014,9:13:00
Max	84.9
Min	51.1
Average	69,48

ID	Value, dBA
1	71
2	71,8
3	71
4	69,4
5	68,7
6	71,7
7	72,6
8	69,8
9	73,4
10	73,1
11	72,4
12	71
13	73,4
14	73,6
15	75,5
16	77
17	78
18	73,9
19	71
20	68,4
21	70
22	70,8
23	76,2
24	79,1
25	77,5
26	77,2
27	77,8
28	78
29	78,4
30	77,5
31	76,5
32	76,3
33	76,5
34	75,7
35	72,9
36	70
37	67,9
38	70,2
39	71,2
40	69,7
41	67,4
42	65,5
43	63,7
44	61,5

45	69,4	45	60,3
46	71,3	46	59
47	72,6	47	57,5
48	74,4	48	56,5
49	70,8	49	55,4
50	66,5	50	54,5
51	65,4	51	53,6
52	68,4	52	52,8
53	67,3	53	52,4
54	67,6	54	52,1
55	67,9	55	51,8
56	72,5	56	51,7
57	71,8	57	51,9
58	75,7	58	52,5
59	73,1	59	53,4
60	69,1	60	55,2
61	68,3	61	58,9
62	72,4	62	64,6
63	72,8	63	69,4
64	70,2	64	74,9
65	69,5	65	73,1
66	70,7	66	72,6
67	73,4	67	72,4
68	71,4	68	73,3
69	73,1	69	76,3
70	71,8	70	75,8
71	73,1	71	74,9
72	75,4	72	74,9
73	76,9	73	75,3
74	74,9	74	75,7
75	72	75	75,4
76	70,9	76	74,9
77	68,6	77	74,9
78	68,5	78	73,7
79	68,1	79	77
80	66,7	80	78,7
81	64,7	81	74,4
82	65	82	72,3
83	65,1	83	70
84	63,4	84	69,3
85	63,5	85	70,8
86	65	86	75,6
87	65,9	87	76,1
88	65,4	88	74,7
89	66,2	89	72,2
90	71	90	70,6
91	72,6	91	68,7
92	73,1	92	67,1
93	69,9	93	66,8
94	68,4	94	67,3
95	67,5	95	66,6
96	66,2	96	65,5
97	65,8	97	63,7
98	67,5	98	61,5
99	73,6	99	59,7
100	73,9	100	58,3

101	69,4	101	57,2
102	65,7	102	56,4
103	63,4	103	56
104	62,1	104	55,7
105	62,4	105	61,5
106	64,4	106	65,9
107	65,2	107	65
108	63,7	108	70,2
109	62,3	109	73,6
110	61	110	69
111	60,7	111	68,2
112	61,5	112	72,8
113	65,5	113	73,4
114	69,1	114	70,9
115	68,7	115	73,7
116	66,1	116	76
117	66,8	117	77,1
118	67,5	118	76,4
119	68,5	119	73,6
120	67,9	120	72,2
121	66,8	121	75,3
122	65,5	122	75,8
123	66,7	123	74,1
124	70,4	124	72,2
125	72,2	125	70,4
126	76,3	126	69,4
127	75,5	127	73,9
128	73	128	72,4
129	73,6	129	72,9
130	73,7	130	74,8
131	72,6	131	71,2
132	71,4	132	71,2
133	72	133	74,1
134	71,8	134	73,3
135	71,2	135	71,7
136	71,3	136	72,8
137	72,1	137	71
138	72,2	138	69,6
139	70,6	139	67,6
140	69,8	140	73,2
141	67,9	141	73,3
142	66,3	142	71,6
143	64,2	143	69,8
144	62,4	144	67,2
145	64,6	145	64,4
146	65	146	61,9
147	61,9	147	60,2
148	59,9	148	58,5
149	58,6	149	56,9
150	57,6	150	55,5
151	56,8	151	54,4
152	56,2	152	53,4
153	55,7	153	52,6
154	55,5	154	52,1
155	55,6	155	51,7
156	55,8	156	51,3

157	56,1	157	51,1
158	56,8	158	51,2
159	60,9	159	52,1
160	65,5	160	55,9
161	65,3	161	59,1
162	64,1	162	64
163	62,4	163	72
164	62,4	164	71
165	65	165	66,7
166	65,5	166	65,3
167	65,9	167	63,1
168	68,4	168	62,2
169	67,4	169	64,6
170	64,8	170	72,9
171	63,4	171	74,9
172	64	172	69,9
173	66	173	70,2
174	69,6	174	77,5
175	72,4	175	74,7
176	71,2	176	75,6
177	73,4	177	75,7
178	73	178	73,4
179	71,8	179	73
180	71	180	73
181	72,3	181	72,8
182	75,9	182	71,8
183	74,1	183	71,6
184	70,2	184	68,7
185	69,4	185	68,7
186	69,4	186	69,6
187	69,6	187	69,2
188	66,5	188	70,2
189	64	189	74,2
190	63,6	190	73,7
191	65,3	191	70,6
192	68,1	192	67,1
193	66,7	193	65,1
194	64,6	194	63,1
195	62,6	195	61
196	62	196	59,2
197	62,3	197	57,7
198	62,2	198	56,6
199	62,3	199	55,6
200	63,1	200	54,8
201	63,5	201	54,2
202	62,8	202	54
203	62,4	203	54,6
204	63,2	204	55,2
205	63,9	205	56,2
206	63,4	206	58,3
207	63	207	59,7
208	64	208	60,3
209	68,2	209	61
210	70,6	210	64,4
211	68	211	72,7
212	64,9	212	75,7

213	62,2	213	71,2
214	60,3	214	71,8
215	59,1	215	76,9
216	59,3	216	76,1
217	62,4	217	72,9
218	69,4	218	74,1
219	69,3	219	71,7
220	67	220	70,5
221	65,7	221	70,7
222	66,8	222	71,5
223	69,8	223	74,1
224	71	224	74,9
225	67,9	225	73,6
226	64,5	226	74,7
227	63,8	227	78,8
228	67,5	228	81,8
229	68,4	229	84,9
230	65,4	230	79,4
231	62,4	231	77,2
232	60,5	232	76,4
233	59,2	233	74,7
234	58,7	234	73
235	59,5	235	73,3
236	62,8	236	72,8
237	67,9	237	70,9
238	74,1	238	71,4
239	73,3	239	72,3
240	71,8	240	71,7
241	71,8	241	71,8
242	67,8	242	71
243	64	243	69,4
244	61,4	244	68,5
245	59,7	245	71,5
246	58,3	246	71,8
247	57,7	247	70
248	58,2	248	67,5
249	59,8	249	67,3
250	62,8	250	71,4
251	67,4	251	71,8
252	68,9	252	70,2
		253	68,9
		254	72,6
		255	73
		256	69,4
		257	71,4
		258	71,8
		259	68,4

Таблиця В.3 – Результати вимірів рівнів

шуму по вул. Клочківська

	03-08-
StartTime	2014,9:23:00
Max	82.4
Min	56.8
Average	68,3

ID	Value, dBA
1	61,2
2	61,1
3	60,3
4	59,3
5	58,9
6	61
7	66,3
8	72,8
9	75,5
10	73,8
11	74,1
12	74,1
13	73,3
14	70,8
15	69,6
16	68,7
17	71,6
18	70,1
19	67,7
20	65,5
21	65,8
22	66,3
23	66,7
24	71,2
25	69,8
26	66,5
27	63,8
28	64,8
29	68,1
30	71,2
31	68,4
32	65,4
33	63,7
34	65,9
35	69,4
36	70,6
37	70,4
38	70,6
39	70,2
40	69,8
41	69,4
42	68,1
43	67,2
44	67,1
45	66,6
46	65,4

Таблиця В.4 – Результати вимірів рівнів

шуму по вул. Гвардійців Широнінців

	11-08-
StartTime	2014,9:01:00
Max	82,2
Min	52
Average	70,4

ID	Value, dBA
1	64,8
2	62,4
3	60,9
4	60,1
5	60,9
6	63,5
7	72,8
8	73,6
9	67,5
10	66,3
11	64
12	61,5
13	59,8
14	58,9
15	58,8
16	60
17	62,4
18	67,4
19	73,4
20	74,2
21	74,5
22	72,9
23	71,8
24	74,1
25	72,2
26	72,2
27	71,2
28	70,2
29	69
30	67,9
31	68,7
32	69,8
33	69
34	66,9
35	64,7
36	63,6
37	63,2
38	65,2
39	71,5
40	71,6
41	68,5
42	65
43	62,6
44	61,9
45	62,4
46	62,8

47	64	47	64,6
48	63,7	48	67,6
49	63,9	49	74,3
50	63,6	50	78,4
51	62,4	51	76,7
52	62,2	52	71,6
53	64,4	53	67,7
54	67,4	54	65
55	69,1	55	62,4
56	69,9	56	60,4
57	68,2	57	58,8
58	65,9	58	57,7
59	67,5	59	57,3
60	67,3	60	56,6
61	64	61	54
62	61,5	62	52
63	60	63	56,1
64	60	64	57,9
65	63,5	65	62,4
66	64,9	66	66,5
67	66,3	67	73,7
68	68,7	68	72,8
69	65,5	69	73,7
70	64,9	70	72,7
71	68,2	71	70,5
72	75,9	72	72
73	76,4	73	70,2
74	74,1	74	66,3
75	71	75	64,8
76	69,4	76	64,2
77	68,3	77	68,1
78	68,9	78	75,7
79	72,6	79	74,7
80	74	80	70,4
81	72,1	81	72,8
82	72,2	82	72,2
83	71,4	83	71,6
84	67,6	84	70,5
85	66,5	85	70
86	66,7	86	72,9
87	67,1	87	74,3
88	66,7	88	70,6
89	66,2	89	67,4
90	65,5	90	68,1
91	65,2	91	67,1
92	64,7	92	70,4
93	64,6	93	70,6
94	65,5	94	69,4
95	66,9	95	67,9
96	66,2	96	69,8
97	65,4	97	72,5
98	66,3	98	76,5
99	66,1	99	82,2
100	66,8	100	81,2
101	68,1	101	76,1
102	68,9	102	74,7

103	66,7	103	73,8
104	65,7	104	72,3
105	64,9	105	71,2
106	64,1	106	70,8
107	64,8	107	70
108	64,5	108	68,6
109	65,5	109	67,9
110	65,5	110	69,1
111	64,4	111	72,4
112	62,7	112	76,8
113	61,9	113	76,7
114	63,1	114	76,7
115	65,9	115	75,3
116	70,7	116	74,5
117	73,8	117	74,5
118	73,1	118	74,2
119	70,1	119	77,1
120	67,9	120	76,5
121	66,5	121	75,9
122	67,9	122	78
123	70	123	82,2
124	70,9	124	78,8
125	69,5	125	75,9
126	70	126	76,3
127	72,3	127	73,8
128	71,8	128	76,2
129	70,8	129	75,7
130	71,3	130	73,2
131	69,5	131	76,1
132	69,4	132	76,5
133	72	133	73,4
134	75,9	134	71,2
135	76,1	135	69,9
136	73,4	136	67,7
137	72,9	137	65,7
138	71,4	138	65,5
139	70,8	139	65,5
140	69,6	140	65,8
141	71	141	68,7
142	69,4	142	72,6
143	71,4	143	72,3
144	71,8	144	72,1
145	73,4	145	72,3
146	76,3	146	71,8
147	73,7	147	71,4
148	69,3	148	72,4
149	69,1	149	71,6
150	70	150	70,6
151	66,5	151	69,6
152	65	152	72,6
153	65,2	153	74,8
154	68,4	154	70,4
155	74,9	155	69,4
156	74,4	156	72,1
157	75,5	157	70,8
158	76,1	158	71

159	72,6	159	70,2
160	69,5	160	72,9
161	67,9	161	73,9
162	66,5	162	71,3
163	66,3	163	70,9
164	66,3	164	71,6
165	65,2	165	69,1
166	64,9	166	65,7
167	64,5	167	65,7
168	64,2	168	63,8
169	65,2	169	61,7
170	68,7	170	60,7
171	70,7	171	61,9
172	69	172	67,1
173	66,3	173	67,9
174	63,7	174	67,6
175	61,6	175	72
176	60,5	176	71,3
177	59,1	177	68,6
178	57,9	178	72,9
179	57,4	179	76,9
180	56,8	180	72,8
181	56,8	181	76,4
182	58,4	182	77,4
183	61,1	183	74
184	64	184	73,3
185	65,1	185	73,2
186	64,8	186	73,6
187	65,3	187	72,4
188	68,2	188	73,7
189	71,7	189	74,8
190	71,8	190	75,9
191	70,8	191	74,6
192	72,5	192	73,7
193	70,4	193	74,7
194	66,3	194	74,9
195	65,2	195	73,7
196	69,1	196	73,5
197	73,4	197	72,1
198	73,4	198	71
199	71,4	199	71,7
200	72,1	200	74,6
201	71,6	201	74,1
202	70,6	202	72,5
203	70,6	203	71,8
204	69,9	204	72,2
205	69,4	205	73,3
206	72,1	206	74,1
207	73,7	207	73,2
208	73,6	208	72,4
209	73	209	71,3
210	71,8	210	69,4
211	71,6	211	67,9
212	76	212	68,7
213	74,5	213	68,7
214	71,4	214	69

215	71,8
216	72,1
217	72,8
218	77
219	77,3
220	72,9
221	70,6
222	71,2
223	79,4
224	82,4
225	77,8
226	74,1
227	74,8
228	73
229	70,6
230	68
231	65,7
232	65,5
233	64,9
234	69,4
235	68,5
236	67,1
237	65,9
238	63,8
239	62

215	67,5
216	67,1
217	69,3
218	75,8
219	77,5
220	76,7
221	74,8
222	73,3
223	69
224	67,6
225	72
226	72,4
227	71,3
228	75,1
229	74,6
230	74,5
231	77,3
232	74,1
233	73,8
234	72,4
235	70,6
236	74,7
237	76,3
238	77,8
239	79,6
240	77,6
241	75,6
242	73,4
243	74,2
244	73,4
245	73,9
246	72,4
247	70,2
248	69,1
249	71,7
250	72,1
251	73
252	73,2
253	72,5
254	71
255	69,1
256	68,1
257	67,5
258	66,7
259	65,2
260	63,7
261	64,4
262	69,1
263	76,1
264	77,8
265	77,5
266	73,3
267	69,6
268	67,3