

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Шкрібляк Юрій Миколайович

**Модель та засоби програмно-апаратної системи
контролю шумового забруднення "розумного" міста
/ Model and means of software and hardware control
system for noise pollution of the "smart" city**

спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Випускна кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КІм-21
Ю. М. Шкрібляк

Науковий керівник:
доцент, Б. О. Масляк

ТЕРНОПІЛЬ - 2019

РЕЗЮМЕ

Метою роботи є розроблення моделі контролю шумового забруднення в «розумному» місті.

Об'єкт дослідження – процес розповсюдження шумового забруднення на території міста. Предмет дослідження – методи і алгоритми виміру та контролю шумового забруднення в межах міста

Методи досліджень базуються на використанні методів натурних вимірів, математичного аналізу поширення шуму в умовах міської забудівлі та програмного складання карти шумового забруднення міста.

Розв'язано задачі: систематизовано впровадженні методи та нормативи контролю шумового забруднення; проведено аналіз приладів вимірювання шуму; проведено розробку математичних алгоритмів поширення шуму від різних джерел; проведено натурні виміри в різних частинах міста ; розроблено модель карти шуму міста відштовхуючись від натурних вимірів шуму.

RESUME

The aim of the work is to develop a model of noise pollution control in a "smart" city.

The object of research is the process of spreading noise pollution in the city. The subject of research - methods and algorithms for measuring and controlling noise pollution within the city

Research methods are based on the use of methods of field measurements, mathematical analysis of noise propagation in urban development and software mapping of noise pollution in the city.

The tasks are solved: the implementation of methods and standards of noise pollution control is systematized; the analysis of noise measuring devices is carried out; the development of mathematical algorithms for noise propagation from different sources; field measurements were carried out in different parts of the city; a model of the city noise map based on full-scale noise measurements was developed.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1.1 Проблеми акустичної екології	7
1.2 Нормування шуму	10
1.3 Методи визначення акустичних характеристик джерел шуму	13
1.4 Класифікація й опис міських джерел шуму	15
1.5 Прилади для вимірювання шуму.....	25
1.6 Методи боротьби з шумом.....	31
1.7 Аналіз літературних джерел та постановка задачі	32
2 Математична модель шуму та аналіз карт шуму	34
2.1 Розробка математичної моделі шуму транспортних потоків як лінійно некогерентного джерела шуму	34
2.2 Карта шуму та інші способи розробки заходів захисту від шумового забруднення.....	43
2.3 Карти шуму в європейських містах.....	51
2.4 Місце й роль ГІС у моніторингу шумового забруднення.....	56
3 Реалізація проекту геоінформаційного моніторингу шумового забруднення.	59
3.1 Огляд існуючих методів вимірювання шуму.....	59
3.2 Оптимізація об'єктів дослідження	65
Висновки	73
Список використаних джерел	74
Додаток А Карта шуму міста Брно.....	79
Додаток Б Світлокопії публікацій	80
Додаток В Довідка про використання.....	86

ВСТУП

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення моделі контролю шумового забруднення в «розумному» місті

Об'єкт дослідження – процес розповсюдження шумового забруднення на території міста

Предмет дослідження – методи і алгоритми виміру та контролю шумового забруднення в межах міста

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- систематизувати впровадженні методи та нормативи контролю шумового забруднення;
- провести аналіз приладів вимірювання шуму;
- провести розробку математичних алгоритмів поширення шуму від різних джерел;
- провести натурні виміри в різних частинах міста ;
- розробити модель карти шуму міста відштовхуючись від натурних вимірів шуму.

Методи досліджень базуються на використанні методів натурних вимірів, математичного аналізу поширення шуму в умовах міської забудівлі та програмного складання карти шумового забруднення міста.

Наукова новизна одержаних результатів. Базується на актуальному визначені зон з високим шумовим забрудненням та подальшому вживанні методів боротьби з шумом на прилеглих територіях

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено карту шумового забруднення міста . Експериментально доведена ефективність карт шуму оснований на натурних вимірах.

Публікації та апробація випускної кваліфікаційної роботи. Отримані результати апробовані в межах II науково-практичної конференції молодих вчених і студентів «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» та опубліковано дві тези доповіді по темі роботи [3,4].

Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу трьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. У першому розділі систематизовано методи методи боротьби зі шумом та проаналізовано типи наявних шумомірів та їх ефективність .

В другому розділі розроблено математичну модель шумових транспортних потоків та розглянуті норми та стандарти контролю та захисту шумового забруднення. Проаналізовано доцільність використання карти шуму як одного з методів його контролю.

У третьому розділі здійснено реалізацію карти шумового забруднення різних районів міста. Проведено натурні заміри шуму та визначени найбільш забруднені шумами мікрорайон та вулиці даного міста розглянуто типи шумів.

1 ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ МІСТ

1.1 Проблеми акустичної екології

У науковій роботі НСО вказується: "... Філософська основа акустичної екології проста: її автор - R. Murray Schafer, музикант, композитор і професор канадського університету - припустив, що ми чуємо акустичну довкілля як музичну композицію, і потім, що ми несемо відповідальність за неї. Першим кроком Шефера стало зауваження про неймовірний переважання візуальної інформації в суспільстві - «культура очі», як це явище часто позначалося в багатьох роботах - і вказівка на те, що вміння дітей слухати стрімко падає. У відповідь на цю проблему було запропоновано розвивати набір вправ по «прочищення вух» («ear cleaning»), що включає «звукові прогулянки» («soundwalk») - прогулянкові маршрути, основною метою яких ставиться усвідомлення звукового середовища (Schafer тисячу дев'яност шістьдесят сім and 1969).

Важливим завданням стало показати, що звук певного місця може - як місцева архітектура, звичаї і одяг - виражати індивідуальність спільноти, його ідентичність в рамках простору. Виходячи з цього, звук починає грати роль нематеріальної спадщини, внаслідок чого стає актуальним питання захисту і збереження природного та історико-культурного звукового середовища, яка є невід'ємною частиною як природного, так і культурного ландшафту "

Серед органів почуття слух - один з найважливіших. Завдяки йому ми здатні сприймати й аналізувати величезне різноманіття звуків, що оточують нас. Слух завжди пильнує, навіть уночі, у сні. Він постійно піддається роздратуванню, тому що не має ніяких захисних пристосувань. Звичайно для позначення того, що ми чуємо, використовують два близьких за змістом слова: "звук" й "шум".

Звук - це фізичне явище, викликане коливальним рухом часток середовища. Звукові коливання мають певну амплітуду й частоту. Так, людина здатна чути звуки, що розрізняються за амплітудою в десятки мільйонів разів.

Що стосується шуму, то він являє собою хаотичне, неструнке змішання звуків, що негативно діє на нервову систему.

Шум - щоденний супутник сучасних міських жителів, такий же повільний вбивця, як і хімічне отруєння. За деяким даними, шум посідає друге місце після паління за негативним впливом на організм людини.

Останні дослідження вчених показали, що шум міста негативно впливає на розумовий розвиток дітей, що в майбутньому неодмінно відбивається на їхній успішності в школі.

Шум впливає на зоровий і вестибулярний апарати, знижує стійкість ясного бачення й рефлекторної діяльності, що часто стає причиною нещасних випадків і травм.

Шум діє на психіку, пригнічуючи її, сприяє значній витраті нервової енергії. Відсутність необхідної тиші, особливо в нічний час, приводить до передчасної втоми. Шум заважає нормальному відпочинку й відновленню сил, порушує сон. А систематичне недосипання й безсоння, у свою чергу, ведуть до важких нервових розладів. Шуми високих рівнів можуть бути гарним ґрунтом для розвитку стійкого безсоння, неврозів й атеросклерозу.

Шум настільки небезпечний, що лікарі говорять про шумову хворобу, яка розвивається в результаті впливу шуму з переважним ураженням слуху й нервової системи.

Звуки наднизьких частот, які ми навіть не чуємо (інфразвуки), також небезпечні для організму людини. Частота в 6 Гц може викликати відчуття втоми, туги, морську хворобу, при частоті в 7 Гц може навіть наступити смерть від раптової зупинки серця. Доведено, що потрапляючи в природний резонанс роботи будь-якого органа, інфразвуки можуть зруйнувати його. Наприклад, частота в 5 Гц ушкоджує печінку.

Рівень шуму в 20-30 дБ практично нешкідливий для людини. Це природне шумове тло, без якого неможливе людське життя. Для "голосних звуків" припустима границя приблизно 80 дБ. При шумі 68-90 дБ виникають неприємні відчуття, при 120-130 - болючі, при 150 - необоротна втрата слуху, при 180 - смерть (для приклада: зі звуком у 190 дБ вибухає атомна бомба).

Будь-який шум достатньої інтенсивності й тривалості може призвести до різного ступеня зниження слухової активності. При високих рівнях шуму слух починає погіршуватися вже через 1-2 роки, при середніх - зниження слуху виникає набагато пізніше, через 5-10 років. Тому особливо важливо заздалегідь вживати відповідних заходів захисту від шуму.

Адже в цей час майже кожна людина, яка піддається впливу шуму, ризикує стати глухим. Якщо в 60-70 роки минулого століття шум на вулицях не перевищував 80 дБ, то в цей час він досягає 100 дБ і більше. На багатьох жвавих магістралях навіть уночі шум небуває нижче 70 дБ, у той час як за санітарними нормами він повинен не перевищувати 40 дБ.

Люди зараз живуть у постійному оточенні шуму, як поки неминучого наслідку розвитку техніки. До шуму не можна адаптуватися. Потреба в тиші стала загально-людською проблемою, над якою серйозно задумалися в багатьох країнах. За останнє десятиліття проблема боротьби з цим негативним явищем стала однією з найважливіших. Наприклад, у конституції ряду країн уже внесене право людей на життя в умовах здорового навколишнього середовища. Цією проблемою також зацікавилися й екологи. Поступово в їхніх дослідженнях, в яких традиційно розглядався хімічний, фізичний і біологічний вплив на людину середовища його перебування, все більше уваги стало приділятися психологічному аспекту. Це привело до формування спеціального розділу екології - акустичної екології. На думку екологів, вплив рівня шуму за своєю дією на людину порівняний з такими факторами, як хімічний склад повітря, радіаційне тло, зміна гравітації і т.д. З'явився спеціальний термін – шумове забруднення. Шум був визнаний одним з дестабілізуючих факторів, що впливають на людину.

У зв'язку з цим міжнародними організаціями питанням боротьби з шумом сьогодні приділяється величезна увага. Так, технічним комітетом ISO розроблено більше 50 стандартів, що регламентують способи оцінки джерел шуму й контролю над ними.

Існує декілька найнебезпечніших у плані "шумового забруднення" зон: заводи й фабрики з їхнім достатком техніки, великі офіси, в яких зосереджена

велика кількість людей, - і, далеко не в останню чергу, наші будинки, де ми з вами живемо, проводимо основну частину нашого відпочинку й намагаємося сховатися від шуму великого міста.

Можливо, давно вже має сенс задати собі питання, наскільки мій будинок, а отже, і я захищені від впливу шуму?

Шумове забруднення в містах практично завжди має локальний характер і переважно викликається засобами транспорту: міського, залізничного й авіаційного. Вже зараз на головних магістралях великих міст рівні шумів перевищують 80 дБ і мають тенденцію до посилення щорічно на 0,5 дБ, що є найбільшою небезпекою для навколишнього середовища в районах жвавих транспортних магістралей. Як показують дослідження медиків, підвищені рівні шумів сприяють розвитку нервово-психічних захворювань і гіпертонічної хвороби. Боротьба з шумом, у центральних районах міст утруднюється щільністю забудови, з-за якої неможливе будівництво шумозахисних екранів, розширення магістралей і висадка дерев, що знижують на дорогах рівні шумів. Таким чином, найбільш перспективними рішеннями цієї проблеми є зниження власних шумів транспортних засобів і застосування в будинках, що виходять на найбільш жваві магістралі, нових шумопоглинаючих матеріалів, вертикального озеленення будинків і потрійного оскління вікон (з одночасним застосуванням примусової вентиляції).

1.2 Нормування шуму

Контроль за рівнем шуму та його оцінка здійснюються згідно з ДСН 3.3.6.037-99, та ГОСТ 12.1.050-86; ГОСТ 12.1.003-83*; ДСТУ 2867-94 [6, 7, 8, 9]. На рисунок 1.1 надано нормативні рівні звукового тиску й рівні звуку на постійних робочих місцях («Санітарні норми виробничого звуку, ультразвуку й інфразвуку» ДСН 3.3.6.037-99) у графічному вигляді (тобто спектри).

Норми враховують біологічну небезпеку тонального й імпульсного шуму, а також категорію фізичного напруження (важкості праці) завдяки введенню відповідних поправок.

Вимоги до допустимих рівнів ультразвуку на робочих місцях визначаються в «Санітарних нормах виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» (ДСН 3.3.6.037-99) [17].

Джерелами ультразвуку є виробниче устаткування, в якому генеруються ультразвукові коливання для виконання технологічного процесу, а також обладнання, при використанні якого ультразвук виникає як супровідний фактор. ДСН 3.3.6.037-99 визначає допустимі рівні звукового тиску для робочих місць вимірюваного ультразвуку в треть октавних смугах з середньо геометричними частотами.

1. Творча діяльність, керівна робота з підвищеними вимогами, наукова діяльність, конструювання й проектування, програмування, викладання й навчання, лікарська діяльність; робочі місця в приміщеннях – дирекції, проектно- конструкторських бюро, розраховувачів, програмістів обчислювальних машин, у лабораторіях для теоретичних робіт і обробки даних, прийому хворих у медпунктах (рівень звукового тиску, дБ); 1А. Те ж, рівень звуку в дБА (=50 дБА).

2. Висококваліфікована робота, що вимагає зосередження, адміністративно- керівна діяльність, вимірювальні й аналітичні роботи в лабораторії; робочі місця в приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій; 2А. Те ж, рівень звуку в дБА (= 60 дБА).

3. Робота, що виконується з указівками й акустичними сигналами, які часто надходять; робота, що потребує постійного слухового контролю, операторська робота за точним графіком з інструкцією, диспетчерська робота: робочі місця в приміщеннях диспетчерської служби, кабінетах і приміщеннях спостереження й дистанційного керування з мовним зв'язком за телефоном, друкарських бюро, на дільницях точного складання, на телефонних і телеграфних станціях, у приміщеннях майстрів, у залах обробки інформації на

обчислювальних машинах без дисплея й у приміщеннях операторів акустиків;
3А. Те ж, рівень звуку в дБА (=65 дБА).

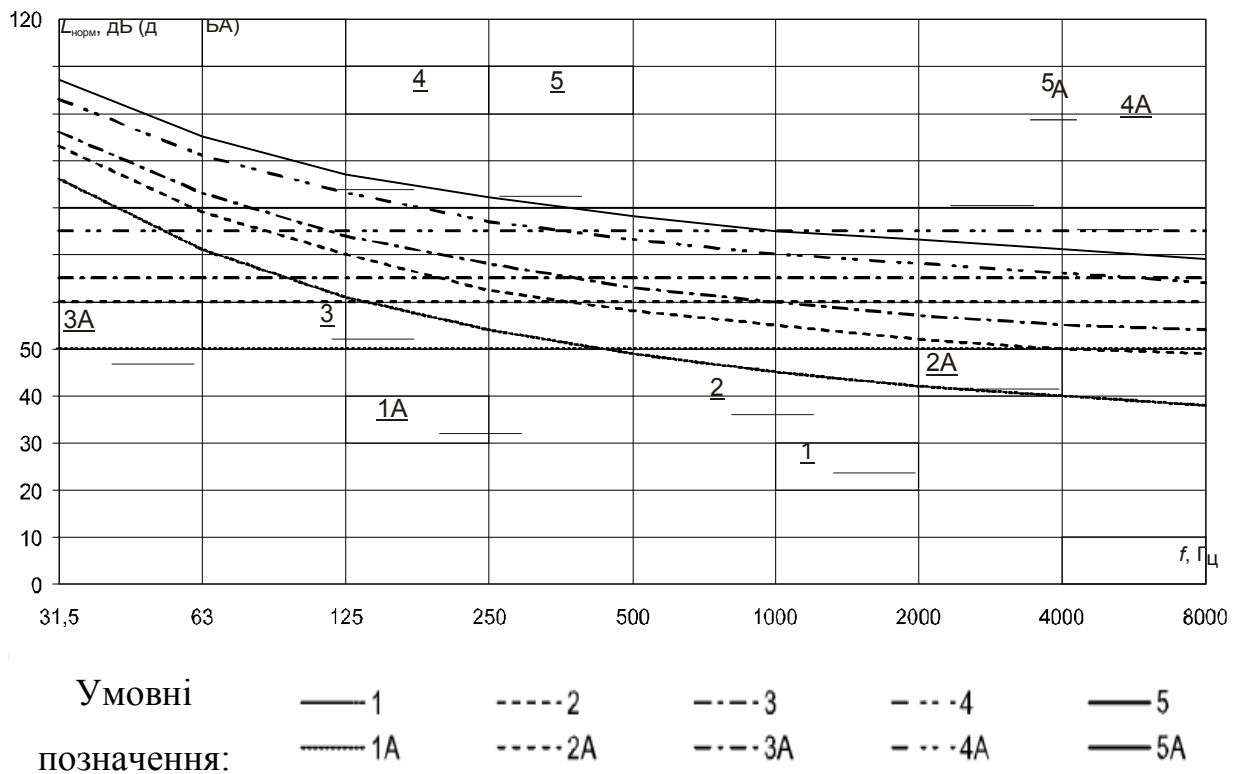


Рисунок 1.1 - Нормативні спектри шуму (рівні звуку та звукового тиску згідно ДСН 3.3.6.037-99 для різних видів діяльності):

4. Робота, що вимагає зосередження, робота з підвищеними вимогами до процесів спостереження й дистанційного керування виробничими циклами: робочі місця за пультами в кабінетах нагляду й дистанційного керування без мовного зв'язку за телефоном; у приміщеннях лабораторій з шумовим устаткуванням, шумними агрегатами обчислювальних машин. 4А. Те ж, рівень звуку в дБА (= 75 дБА).

5. Виконання всіх видів робіт (окрім перелічених у пп. 1-4 та аналогічних їм) на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях і території підприємств. 5А. Те ж, рівень звуку в дБА (= 80 дБА).

Так, для середньо-геометричної частоти 12,5 кГц рівень звукового тиску не повинен перевищувати 80 дБ, для 16 кГц - 90 дБ, 20 кГц - 100 дБ, 25 кГц - 105 дБ; для середньо-геометричних частот у діапазоні 31,5 - 10 кГц рівні звукового тиску не повинні перевищувати 110 дБ. Загальний рівень звукового тиску не

повинен перевищувати 110 дБ."Санітарними нормами і правилами при роботі на промислових ультразвукових установках" (№ 1733-77) обмежуються рівні звукового тиску у високочастотній області чутних звуків і ультразвуків на робочих місцях (від 80 до 110 дБ при середньо-геометричних частотах третьо-октавних смуг від 12,5 до 100 кГц). Ультразвук, що передається контактним шляхом, нормується "Санітарними нормами і правилами при роботі з устаткуванням, що створює ультразвуки, що передаються контактним шляхом на руки працюючих" № 2282-80. Вимоги до допустимих рівнів інфразвуку на робочих визначаються в "Санітарних нормах виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" (ДСН 3.3.6.037-99), де за характером спектру інфразвук підрозділяється на широкосмуговий і гармонійний. Гармонійний характер спектра встановлюють в октавних смугах частот з перевищення рівня в одній смузі над сусідніми не менш чим на 10 дБ. За тимчасовими характеристиками інфразвук підрозділяється на постійний і непостійний.

Нормованими характеристиками інфразвуку на робочих місцях є рівні звукового тиску в децибелах у октавних смугах частот зі середньо-геометричними частотами 2, 4, 8, 16Гц. ДСН 3.3.6.037-99 визначає допустимі рівні звукового тиску для робочих місць вимірюваного інфразвуку в третьо-октавних смугах з середньо-геометричними частотами. Так, припустимими рівнями звукового тиску є 105дБ в октавних смугах 2, 4, 8, 16 Гц і 102 дБ в октавній смузі 31,5 Гц. При цьому загальний рівень звукового тиску не повинен перевищувати 110 дБ. Для непостійного інфразвуку нормованою характеристикою є загальний рівень звукового тиску.

1.3 Методи визначення акустичних характеристик джерел шуму

У даний час розроблено методи, що дозволяють встановлювати шумові характеристики різноманітних джерел міського шуму. Це метод прямих натурних вимірювань (інструментальний), метод масштабного і математичного

моделювання (розрахунковий) і аналітичний метод (графо-аналітичний), пов'язаний з використанням детермінованих і імовірнісних моделей.

Інструментальний метод передбачає отримання в натурних умовах шумових характеристик розглянутих джерел за допомогою спеціалізованих приладів (шумомерів) за жорстко встановленою методикою.

Оскільки для досліджень транспортного шуму в міських умовах важливо знати, яким саме чином збирають відомості про акустичні характеристики залізничного рухомого складу (рейковий транспорт), і автомобілів, методику інструментальних вимірювань шуму викладено в п. 1.4.1. і 1.4.2 відповідно.

Інструментальний метод отримання акустичних шумових характеристик джерел прийнято вважати найбільш точним та надійним, оскільки визначення параметрів джерела шуму цим способом включає в себе облік різноманітних натурних умов. Однак застосування такого роду визначення джерела шуму можливе тільки в існуючій забудові при її реконструкції. До складностей використання цього методу можна віднести, перш за все, залежність результатів вимірювання від кліматичних, часових, просторових умов, а також їх одномоментність. Найбільш раціональним можна вважати застосування методу натурних вимірювань при наукових дослідженнях і складанні кадастру шуму міських джерел для подальшого використання його в розрахунках і при прогнозуванні.

Розрахунковий метод передбачає використання відомих математичних моделей залежності рівня шуму джерела від конкретних технічних характеристик і умов, що спираються на базу даних у довідковій і нормативній літературі. Метод є приблизним, тому що спирається на усереднені для всіх видів джерел дані, що не мають діапазону варіантності, але зручний для прогнозування шумового забруднення території. Про це докладніше сказано далі в гл. 3.

Графоаналітичний метод базується на результатах експериментальних досліджень, представлених у вигляді номограм, у яких узагальнені дані про окремі джерела шуму й поправки на умови розповсюдження. Він є одним з

спрощених методів оцінки, призначеним для інженерних розрахунків, і використовується в доповнення до раніше описаного розрахункового методу. У містобудівній практиці при розробці нових проектів найбільш прийнятним методом можна вважати розрахунковий. Такий метод найбільш універсальний, він дозволяє оцінювати шум на всіх рівнях містобудівного розгляду.

1.4 Класифікація й опис міських джерел шуму

Міське середовище включає в себе безліч технічних споруд, транспортних шляхів, промислових, спортивних і комунальних об'єктів, які є активними джерелами шуму. Прийнято систематизувати основні джерела міського шуму за наступними принципами (рисунок 1.2), (рисунок 1.3):

До стаціонарних джерел відносяться: промислові підприємства, установи з обслуговування всіх видів транспорту (автопідприємства, автовокзали, сортувальні станції, вантажні двори, річкові порти), великі трансформаторні підстанції, відкриті спортивні споруди, комунальні об'єкти.

До мобільних джерел шуму відносяться: потоки всіх видів наземного, автомобільного й рейкового транспорту на вулично-дорожній мережі міст і позаміських магістралях, авіаційний транспорт у аеропортах і зонах підходу до аеродрому, водний транспорт, залізничний транспорт;



Рисунок 1.2– Класифікація шуму за видами джерел

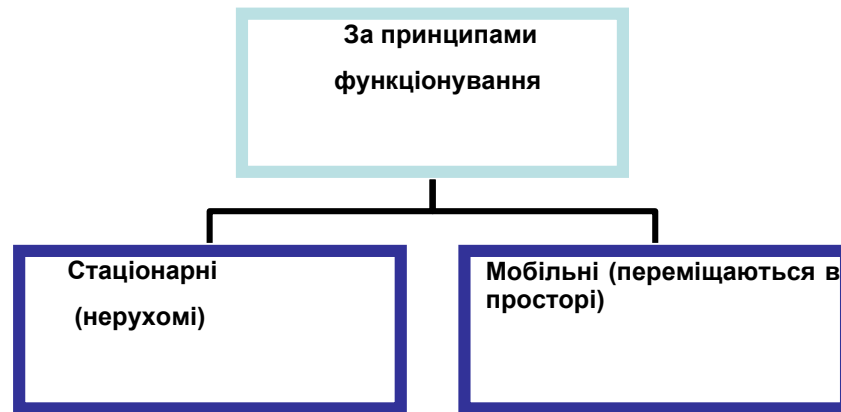


Рисунок 1.3 – Класифікація шуму за принципами функціонування

За величиною (розглядаються геометричні параметри джерела):

- точкові (окремі автотранспортні засоби, локомотив, літак, окремі комунальні й промислові агрегати, технічні засоби та механізми та ін);
- лінійні (щільні транспортні потоки, залізничний рух);
- просторові (промислові території, логістичні центри, автовокзали, автопідприємства, транспортні розв'язки і т. д.

За фізичними властивостями шумоутворення в джерелі:

- джерела постійного шуму - інженерне й технологічне обладнання промислових і комунальних підприємств (постійно діючих вентиляційних агрегатів, компресорних установок, вентиляційних систем, повітродувок, трансформаторних підстанцій і т. д.);
- джерела непостійного шуму - автомобільний, залізничний, авіаційний транспорт, а також стаціонарні технічні системи, періодично діючі в міському середовищі.

Акустична характеристика кожного з джерел залежить від складових його тонів з урахуванням інтенсивності й частоти звуку. Представляється у вигляді спектра, який може бути дискретним, безперервним (суцільним) і змішаним. Серед основних порушників екологічного благополуччя першість зберігає шум автотранспорту. Велика маневреність, мобільність, високі швидкості доставки вантажів і пасажирів повідомлення на різні відстані, комфорт поїздки, загальнодоступність та інші позитивні якості забезпечили йому протягом

минулих років і на найближчий час великі переваги в порівнянні з іншими видами транспорту. Вони визначили високі темпи зростання кількості автомобілів у містах. Шум, що створюється міським автотранспортом, низької середньочастотний, з максимумом звукового тиску в діапазоні частот 400-800 Гц, знижені в середньому на 4-5 дБ на октаву. Він має широкий спектральний діапазон і час звучання. Це є причиною глибини й потужності його негативного впливу. Зростання шуму на міській території, створюваного автомобільними потоками, в значній мірі залежить від принципів організації руху й технічних характеристик транспортних засобів: потужності й конструкції двигунів, вантажопідйомності, швидкості, інтенсивності руху потоку в цілому, конструкції й стану дорожнього полотна, ухилів вулиць і доріг. Окремі автотранспортні засоби представляються як точкові джерела шуму (якщо розглядаються окремі автомобілі), а транспортні потоки - як лінійне або переривисте джерело шуму.

Стандарт ГОСТ 26918-86 (СТ СЭВ 5033-85) установлює методи виміру шуму (рівня звуку А й рівня звукового тиску), створюваного залізничним рухомим складом.

Вимір зовнішнього шуму рухомого складу

Ділянку шляху для виміру зовнішнього шуму варто вибирати з таким розрахунком, щоб її акустичне навколишнє середовище забезпечувало вільне поширення шуму в межах ± 1 дБ, тобто при подвоєнні відстані від джерела шуму зменшенні звукового тиску на 6 дБ. Ця умова вважається виконаною, якщо в окрузі радіусом у 50 м немає великих шумовідбиваючих предметів, як наприклад, гребель, пагорбів, скель, мостів або будинків.

Поблизу мікрофона не повинно бути предметів, що можуть порушити вільне звукове поле. Під час вимірів між мікрофоном і джерелом шуму не допускається присутність людей. Персонал, який виконує виміри, повинен перебувати в місці, де його вплив на результат виміру рівня шуму відповідно до попередніх випробувань непомітний. Простір між мікрофоном і джерелом шуму повинен бути максимально вільним від звуковбирних поверхонь, наприклад, від високої трави, снігу.

Якщо відповідність вимогам вимірювальної ділянки шляху є неоднозначною, її придатність на практиці перевіряється широкосмуговим точковим джерелом звуку. Рівень звукового тиску, створюваного випробуваним джерелом шуму, повинен знижуватися за законом квадратичного зниження, тобто створений рівень тиску звуку повинен знижуватися приблизно на 6 дБ при збільшенні відстані в два рази.

При вимірах необхідно застосовувати вітрозахисний пристрій мікрофона. При швидкості вітру більше 5 м/с вимір зовнішнього шуму не повинен проводитися, особливо коли між мікрофоном і вимірюваною одиницею рухомого складу є велика відстань. Інші метеорологічні умови (температура, дощ і т.п.) повинні бути такими, щоб не здійснювали значного впливу на вимір. Під час попередніх або приймальних, кваліфікаційних і типових випробувань рівень звуку А, що виходить від інших засобів транспорту, будинків, вітру, перешкод, повинен бути не меншим ніж на 10 дБА нижче рівня звуку А випробуваної одиниці рухомого складу. При періодичних випробуваннях загальний рівень звуку А перешкод повинен бути не меншим ніж на 3 дБА нижче рівня звуку А, випромінюваного під час роботи або проходження одиниці рухомого складу. Якщо різниця між двома тисками звуку перебуває в межах від 3 до 10 дБ, то варто зробити коригування згідно з табл. 1.1.

Під час випробувань нетягові одиниці рухомого складу повинні бути без навантаження й на них не повинні перебувати пасажери або інші особи. Під час вимірів двері й вікна рухомого складу повинні бути закриті. Виміри проводяться під час руху рухомого складу з постійною швидкістю. Головна вісь мікрофона повинна бути спрямована перпендикулярно до ділянки шляху, де проводиться вимір.

Виміри повинні проводитися при двох положеннях мікрофона - на відстані 7,5 і 25 м від поздовжньої осі вимірювального шляху. Мікрофони повинні бути розташовані на висоті 1,6 м від верхньої поверхні головки рейки. Якщо у верхній частині випробуваної одиниці рухомого складу є значні джерела шуму (наприклад, потужне машинне устаткування), то рекомендується додатково проводити виміри й при розташуванні мікрофона на висоті 3,5 м від верхньої

поверхні головки рейки. Якщо рівні звуку А, вимірювані із двох сторін рухомого складу, розрізняються, то за результат виміру приймаються значення, отримані на стороні з більше високими рівнями звуку.

При вимірі шуму під час руху рухомого складу вимірюють і реєструють найбільший рівень звуку А, обмірюваний під час руху випробуваної одиниці рухомого складу. При вимірі в нерухомому стані відраховують середнє арифметичне спостережуваних коливань рівня. Результат виміру не враховують, якщо обмірюване значення рівня шуму відрізняється від звичайного рівня шуму (наприклад, містить в собі шум, створюваний зустрічним поїздом). Під час попередніх або приймальних, кваліфікаційних і типових випробувань при кожному розташуванні мікрофона й кожному режимі роботи проводять три виміри. Якщо результати трьох вимірів, проведених при однакових умовах, відрізняються більше ніж на 3 дБ, то виміри повторюють. При періодичних випробуваннях проводять тільки один вимір у обраних точках. Результат вимірів, отриманий під час періодичних випробувань, вважається задовільним, якщо він відрізняється від результату виміру, отриманого при приймальному випробуванні при однакових умовах, не більше ніж на ± 3 дБ.

Для визначення шуму при проходженні рухомого складу через спеціальні спорудження (наприклад, тунелі, мости, стрілочні переводи, перехрестя, станції) допускається проводити додаткові виміри. Крім випробувань при режимах роботи допоміжного устаткування можуть проводитися додаткові виміри при наступних режимах:

- кожен агрегат допоміжного устаткування окремо працює при найбільшому навантаженні;
- кожне допоміжне устаткування працює при середньому або найменшому навантаженні.
- Можуть додатково проводитися виміри при розташуванні мікрофона на висоті 1,2 м від рівня підлоги й на відстані 0,2 м від голови машиніста вбік середини кабіни машиніста.

Тяговий рухомий склад випробують:

- при максимальному режимі роботи;

- при експлуатаційному, тобто нормальному гальмуванні з найбільшою швидкістю до повної зупинки.

Додаткові виміри при вимірі зовнішнього шуму залізничного рухомого складу на стоянці. Мікрофон розташовують на відстані 7,5 м від поздовжньої осі шляху. Отримана в такий спосіб відстань між боком вагону й мікрофоном повинна дотримуватися навколо всього вагона відповідно. Відстань між мікрофонами, розташованими паралельно боку рухомого складу, повинна бути від 3 до 5 м. Передбачають на обох сторонах по три положення для мікрофона. Задля одиниць рухомого складу, довжина яких перевищує 20 м, паралельно боку передбачають більше шести положень для мікрофона. Серед положень мікрофона повинні бути такі, які перебувають у площинах, перпендикулярних боку кузова рухомого складу й таких, що проходять через кабінку машиніста й через двигун. Мікрофони розташовують на висоті 1,6 м над верхньою поверхнею головки рейки. Додаткове положення мікрофона на висоті 3,5 м від головки рейки рекомендується в тому випадку, коли у верхній частині випробуваного рухомого складу перебувають значні джерела шуму. В усіх положеннях мікрофон орієнтується перпендикулярно до поверхні кузова одиниці рухомого складу.

Випробування може відбуватися для виміру шуму, випромінюваного рухомим складом під час рушання з місця. При цьому вимірювальний мікрофон розташовують на відстані 7,5 м від поздовжньої осі шляху, на висоті 1,6 м від верхньої поверхні головки рейки таким чином, щоб вимірялися максимальний і характерний звуковий тиск, а також частотний спектр шуму. Додатковий вимір шуму на станційних площадках і місцях зупинки виконують для визначення шуму на посадкових площадках станцій і зупинок, створюваного проїжджаючими й від'їжджаючими поїздами. Мікрофон розташовують на посадковій площадці на відстані 3 м від осі найближчого шляху, на висоті 1,6 м від рівня площадки в точках, де необхідно визначити рівень шуму. Ці точки звичайно перебувають посередині відстані від переднього до заднього кінців поїзда, уздовж бічної сторони. Мікрофон орієнтують перпендикулярно шляху.

Подальші виміри можна здійснювати також на сусідніх площадках. Результатом виміру вважається найбільший отриманий рівень звуку А. При вимірі на підземних станціях до протоколу випробування прикладають креслення поперечного перерізу.

Виміри також проводять при розгоні й гальмуванні одиниці рухомого складу з нормованими прискореннями. Режим управління під час випробувань у міру можливості підтримується на постійному рівні.

Додаткові виміри на мостах і в тунелях

Мікрофон розташовують на висоті 1,6 м від верхньої поверхні головки рейок, на відстані 7,5 м від поздовжньої осі шляху на мостах і віадуках, і по можливості на відстані 3 м у тунелях. При вимірі шуму на мостах рекомендується додатково розташовувати мікрофон на відстані 25 м, але бажано й на відстані 50 і 100 м від осі вимірювальної ділянки шляху, на висоті 3,5 м від верхньої поверхні рейок.

При русі автомобіля джерелами шуму є двигун, трансмісія, підвіска, шини й панелі кузова. Шум виникає також від потоків повітря, що обтікають кузов. Випуску кожної нової моделі автомобіля обов'язково передують випробування, в яких визначають характеристики зовнішнього і внутрішнього шуму на різних режимах роботи. Метою таких випробувань, є перевірка відповідності виникаючого при русі автомобіля шуму діючим нормам за гучністю.

Методика проведення доводочних, приймальних і контрольних випробувань автомобілів за рівнями зовнішнього й внутрішнього шумів регламентована державними стандартами. Звичайно при таких випробуваннях досліджують не менше двох автомобілів однієї моделі, які повинні бути технічно справними. Зношування протектора шин не повинен перевищувати 30%, тиск у шинах повинний відповідати тиску, зазначеному в інструкції підприємства-виготовлювача. При вимірі внутрішнього шуму всі вікна автомобіля повинні бути закриті, а кліматичні й вентиляційні установки включені.

В автомобілі, випробовуваному без навантаження, дозволяється перебувати водієві й одному-двом випробувачам. Випробування проводять на

горизонтальній (ухил не більше 1%) ділянці дороги з асфальто або цементобетонним покриттям довжиною 1-1,5 км, розташованим поза зоною сильних магнітних і електростатичних полів. Рівень звуку від сторонніх джерел повинен бути нижче рівня, створюваного випробовуваним автомобілем, не менше ніж на 10 дБ. Поверхню ділянки необхідно очистити від піску, гравію, бруду й снігу. Найбільш придатним для проведення випробувань є місце, в радіусі 50 м від якого немає будинків, споруд та інших об'єктів, що випромінюють або відбивають звук. Виміри при вітрі більше 5 м/с, а також під час дощу й грози не проводять.

Для вимірів рівня шуму застосовують прецизійні шумоміри. За частотною характеристикою шумоміра вимірюють рівні звуку, а за характеристикою С - рівень звукового тиску (y дБ) $L = 20 \lg p/p_0$, де p – середньо квадратичне значення звукового тиску в точці виміру, Па; $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па - гранична величина звукового тиску.

При вимірах зовнішнього шуму ділянку дороги довжиною 20 м розмічають відповідно до схеми, наведеної на Рисунок 1.4.

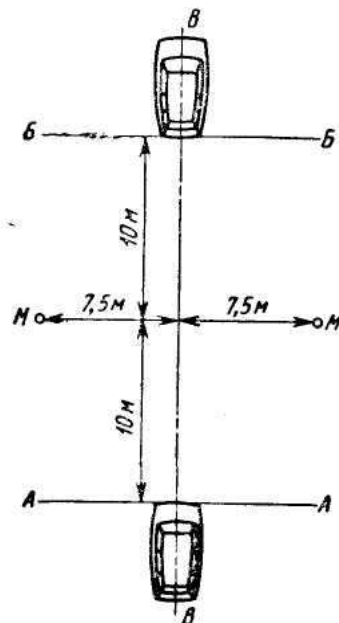


Рисунок 1.4 – Схема розмітки ділянки дороги при вимірі зовнішнього шуму

Лінії АА і ВВ обмежують вимірювальну ділянку, лінія ВВ є осьювою лінією руху автомобіля. В точках М установлені мікрофони шумоміра на висоті 1,2 м від рівня дороги.

Автомобілі з механічною коробкою передач повинні наближатися до вимірювальної ділянки на другій передачі, якщо в коробці менше чотирьох передач, або на третій, якщо в коробці більше чотирьох передач. Швидкість руху автомобіля повинна бути найменшою з перерахованих нижче:

- відповідної 3/4 номінальної частоти обертання двигуна;
- відповідної 3/4 максимальної частоти обертання двигуна за регулятором;
- 50 км/г.

Автомобілі з автоматичною коробкою передач повинні наближатися до початку ділянки з найменшою з наступних швидкостей:

- відповідної 3/4 максимальної швидкості автомобіля;
- 50 км/г.

Рух автомобіля на вимірювальній ділянці в прямому і зворотному напрямках роблять з інтенсивним розгоном. У момент перетинання лінії АА (ВВ) різко натискають до упору педаль управління дросельною заслінкою, що відпускають тільки наприкінці ділянки. Виміри роблять з кожної сторони автомобіля не менше трьох разів. При вимірі рівня звуку (характеристика А) реєструють максимальні показання шумоміра. Для одержання спектра зовнішнього шуму послідовно вимірюють звуковий тиск (характеристика С) у кожній октавній смузі 31,5-63-125-250-500-1000- 2000-4000-8000 Гц і будують графіки середніх арифметичних рівнів звукового тиску в октавних смугах.

При вимірах внутрішнього шуму мікрофон установлюють у точках, розташованих у осьовій площині автомобіля на висоті 0,6 м від середини сидіння. Число вимірів (від одного до трьох) залежить від числа рядів сидінь у автомобілі. Якщо кабіна водія ізолювана, то виміри проводять також біля сидіння водія. Випробування здійснюють при інтенсивному розгоні автомобіля відповідно до описаної вище методики.

В експериментально-дослідницьких роботах якість шумоізоляції кузова й кабіни можна оцінити методом порівняння частотних спектрів шуму двигуна (

головного джерела шуму) й шуму в салоні. Для одержання таких спектрограм при роботі двигуна на різних режимах мікрофон шумоміра встановлюють по черзі в моторному відсіку на відстані 0,2-0,3 м від двигуна, в кабіні на рівні голови водія. Для одержання таких оцінок застосовують і безмоторну електроакустичну установку, можливу схему якої показано на рисунку 1.5.

За допомогою цієї установки можна оцінити ефективність шумоізоляції двома методами: частотно-модульованого тону й магнітного запису рівня шуму двигуна.

При використанні методу частотно-модульованого тону на вхід гучномовця 5, встановленого під капотом двигуна, від звукового генератора 1 подаються сигнали заданого рівня, які попередньо підсилюються підсилювачем 4. Одночасно шумомір 7 вимірює рівень шуму під капотом двигуна й у салоні автомобіля на робочому місці водія. За різницею звукового тиску, обмірюваного під капотом і в кабіні автомобіля, визначають рівень зменшення шуму для всього досліджуваного діапазону частот (звичайно 25-8000 Гц) і будують частотну характеристику глушіння. За характеристикою глушіння можна об'єктивно оцінити ізолюючі властивості різних матеріалів.

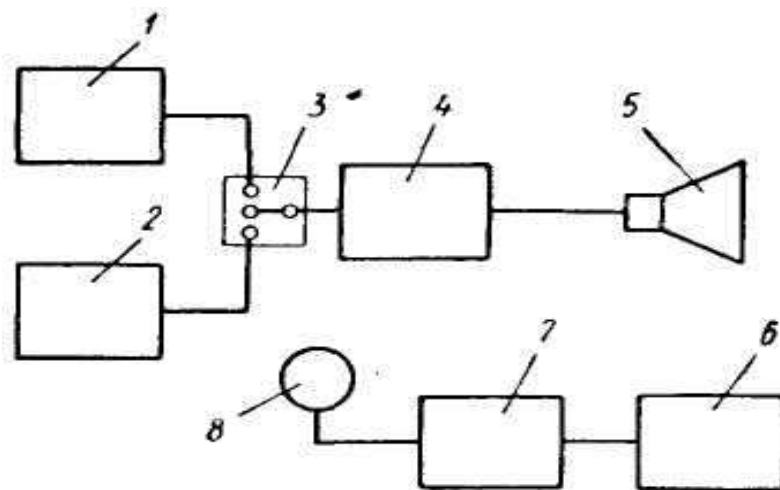


Рисунок 1.5 - Схема безмоторної електроакустичної установки для досліджень звукоізоляції кузова й кабіни: 1 - звуковий генератор; 2 - магнітограф; 3 - передавальний пристрій; 4 - підсилювач; 5 - гучномовець; 6 - аналізатор; 7 - шумомір; 8 - мікрофон.

У випадку застосування іншого методу безмоторних акустичних досліджень попередньо записують рівень шуму двигуна, що працює на різних швидкісних і навантажувальних режимах, через пристрій 3 на плівку магнітографа 2. Відтворений за допомогою магнітографа й посилений підсилювачем 4 шум подається на вхід гучномовця 5, встановленого під капотом досліджуваного автомобіля. За допомогою мікрофона 8, шумоміра 7 й аналізатора 6 реєструються рівні й частотні спектри шуму у відсіку двигуна й у кабіні автомобіля. Як й у першому випадку, за різницею рівнів частотних складових спектра відтвореного шуму двигуна й шуму на робочому місці водія будують частотну характеристику глушіння.

При несучому кузові, як правило, ускладнюються завдання надійної звукоізоляції пасажирського салону. Тому випробування на гучність таких конструкцій проводять особливо ретельно в умовах, що найбільш повно відбивають можливі швидкісні й навантажувальні режими роботи двигуна й автомобіля.

1.5 Прилади для вимірювання шуму

Прилади для вимірювання шуму - шумоміри складаються, як правило, з датчика (мікрофону), підсилювача, частотних фільтрів (аналізатора частоти), приладу, що реєструє (самописця або магнітофона) й індикатора, що показує рівень вимірюваної величини в дБ. За точністю шумоміри поділяються на чотири класи 0, 1, 2 і 3:

- Шумоміри класу 0 використовують як зразкові засоби вимірювання;
- прилади класу 1 - для лабораторних і натурних вимірювань (Рисунок 1.6);
- класу 2 - для технічних вимірювань (Рисунок 1.7);
- класу 3 - для орієнтовних вимірювань шуму (Рисунок 1.8).

Кожному класу приладів відповідає діапазон вимірювань за частотою: шумоміри класів 0 і 1 розраховані на діапазон частот від 20 Гц до 18 кГц, класу 2 - від 20 Гц до 8 кГц, класу 3 - від 31,5 Гц до 8 кГц. Для вимірювання рівня

шуму при усередненні за тривалий період часу застосовують інтегруючі шумоміри. Прилади для вимірювання шуму будуються на основі частотних аналізаторів, що складаються з набору смугових фільтрів і приладів, що показують рівень звукового тиску в певній смузі частот.



Рисунок 1.6 – Шумомір класу 1



Рисунок 1.7 – Шумомір класу 2



Рисунок 1.8 – Шумомір класу 3

В якості вимірювальної апаратури використано портативний (кишеньковий) шумомір китайського виробництва який класифікується як шумомір класу 2. Він володіє безліччю функцій, з яких використовувалися наступні:

- вимірювання рівня звуку, дБА, коригованого за стандартизованою шкалою А з урахуванням різного сприйняття слуховим аналізатором людини звуків різних частот;

- можливість спектрального аналізу звуку: октавний спектр для всіх без виключення вимірювань представлявся графічно як для нормованих смуг у 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц; так і в ненормованих смугах 16 і 16000 Гц;

- індикація щонайвищих пікових значень флуктуацій рівня в кожній октавній смузі (верхня риска типу над стовбчастою індикацією миттєвих значень у кожній октавній смузі);

- максимум випромінювання (пікова кількість дБ на піковій частоті, Гц), який не є нормованим, але достатньо цікавий з наукової точки зору.

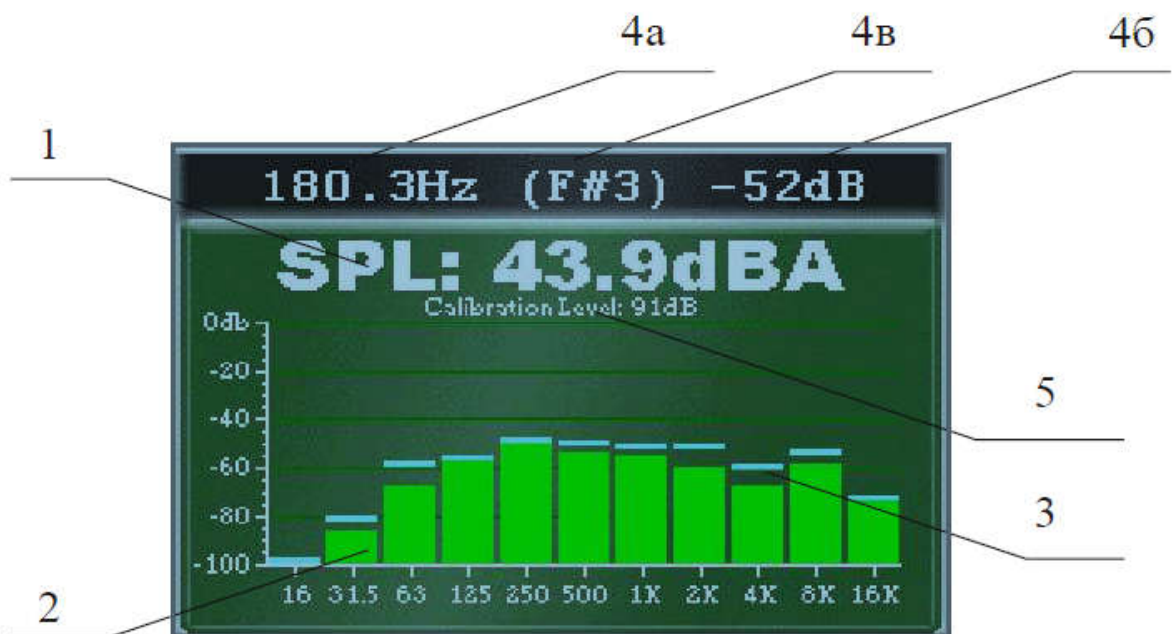


Рисунок 1.9 - Знімок з екрану кишенькового шумоміра (з позначенням графічного відображення виконання вказаних вище функцій при вимірюванні)

1. Індикатор рівня звуку; SPL - (Sound Pressure Level), рівень звуку, скоригований за шкалою корекції А (особливості сприйняття звуку різних частот), показує вимірний рівень у дБА. Основний показник, що підлягає контролю.

2. Аналізатор спектру: має осі координат, які градуйовані в Гц (вісь $e_v_e_n_O_$ абсцис) і в дБ (вісь ординат). По вісі абсцис відкладаються середньо-геометричні частоти октавних смуг частот (вони для кожної з октав стандартизовані). Українськими нормативними документами регламентовані смуги, починаючи з 31,5 Гц до 8000 Гц; використовуваний прилад має ширші межі вимірювань і працює також у октавах 16 Гц і 16000 Гц. По осі ординат рівні звукового тиску в дБ: чомусь відкладаються за стобальною шкалою і додатково в зворотному порядку. «-100 db» на початку відліку при цьому відповідає в реальності «нашим» 0 дБ; «0 db» відповідає реальним 100 дБ. Це не дуже зручно і, напевно, повинне якимось перемикатися в нормальний вигляд, але через недостатній обсяг відомостей в документації приладу перемкнути зворотну індикацію на пряму не вийшло. При роботі приладу в кожній октавній смузі у вигляді зеленого стовпчика, що світиться, відображається вимірний рівень звукового тиску в ній, виражений в дБ. Аналіз спектру у вигляді стовпчиків показує миттєві значення рівнів.

3.) Індикатор найвищих пікових значень флуктуацій рівня в кожній октавній смузі, досягнутих у ході вимірів раніше. Аналіз спектру у вигляді верхніх рисок типу «_» показує максимальні значення. Таким чином, у одній тій самій площині координат одночасно візуалізуються два графіки – спектр шуму, побудований за миттєвими значеннями; і спектр шуму, побудований за максимальними значеннями.

4.) Відображає максимум випромінювання: L_{max} - максимальний рівень звукового тиску, дБ у процесі вимірювання на певній частоті f , Гц (3.4а). Цей параметр не відноситься до нормованих, але представляє особливий інтерес з погляду вивчення звуку. Через технічні особливості приладу L_{max} (3.4б) відображається за стобальною шкалою в зворотному порядку, тобто «-52dB» з (Рисунок 1.9) насправді є $100 - 52 = 48$ дБ. Таким чином, смужку верхнього

транспаранта з (Рисунок 1.10) насправді слід читати так: «Максимум випромінювання звуку зафіксований на частоті 180,3 Гц і складає 48 дБ». Напевно, якимсь чином можливо перемкнути індикацію (1.10б) із зворотного відліку за стобальною шкалою на прямий звіт: (тобто, щоб відразу показувалося «+48dB» замість «-52dB» на Рисунок 1.10), - проте, ніяких вказівок до цього в технічній документації приладу немає. (1.10в) - указує назву октави й порядковий номер третьоктавної смуги в ній. Ці дані (1.10в) в експериментах ніяк не використовувалися; в описі приладу ніяких відомостей щодо інформації по поз. 4в просто немає.

5.) Підпис “Calibration level: 91 dB” (дрібними буквами) є чисто службовою інформацією, призначеною для індикації режиму настройки: (калібрування приладу) і в безпосередніх вимірюваннях ніяк не використовується. Можливо, її можна якось відключити, але ніяких вказівок з боку заводу - виготовника, як це зробити не знайшлося.

Крім того, використовуваний шумомір володіє безліччю інших функцій, з яких можна виділити наступні:

- Можливість не тільки октавного, але й третьоктавного (Рисунок 1.10.а) й навіть 1/6 октавного (Рисунок 1.10.б) аналізу спектру.

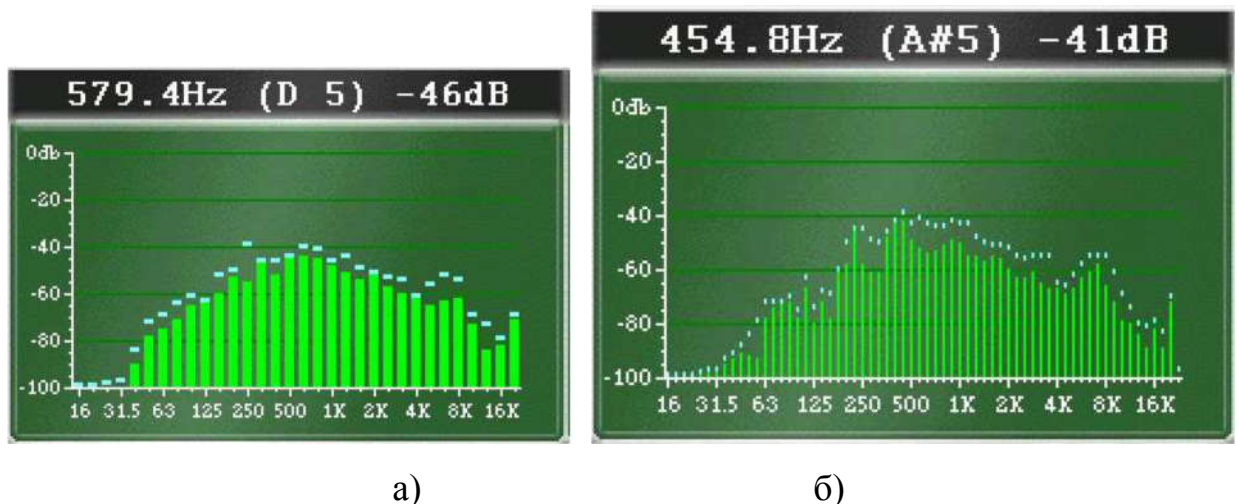


Рисунок 1.10 - Перемикання дисплея на індикацію третьоктавного (а) і 1/6-октавного (б) аналізу спектру.

Поз. 1 з попереднього Рисунок 1.9 при цьому чомусь не візуалізується, вся решта елементів і шкал від Рисунок 1.9 повністю співпадають з аналогічними елементами Рисунок 1.10.

- Можливість відображення свідчень у вигляді логарифмічної шкали (з одночасним максимальним розширенням меж вимірювань до максимуму).

На цьому не закінчуються надзвичайно широкі можливості приладу. Висвітлення інших функцій не входить до завдання проведених досліджень.

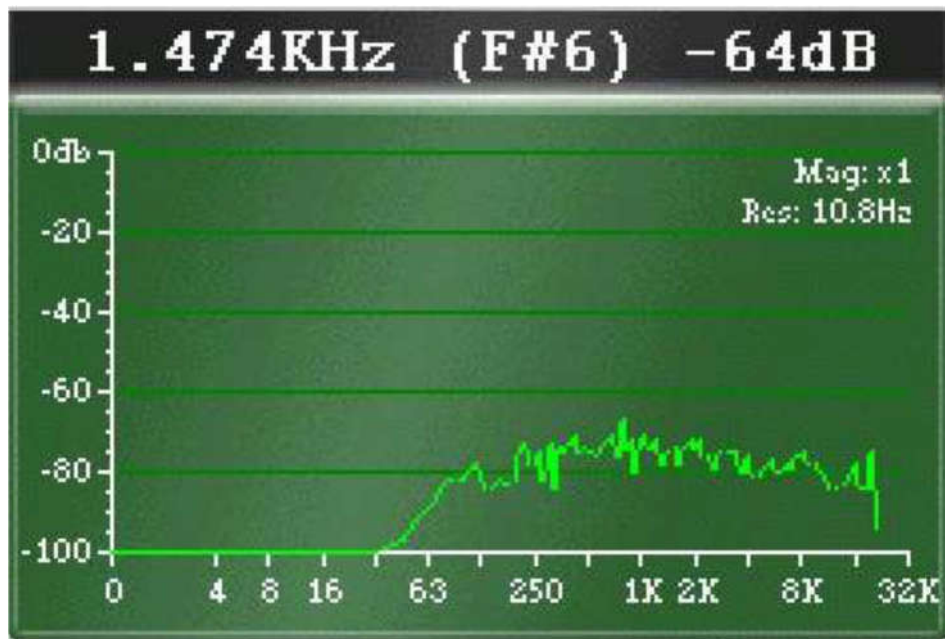


Рисунок 1.11- Той же спектр, але тільки відкладений в логарифмічному масштабі.

Вісь абсцис (частоти) при цьому градується, починаючи з 0 Гц (інфразвук), і закінчується 32 кГц (ультразвук).

Поз. 1 з попереднього Рисунок 1.10 при цьому не візуалізується вся решта елементів і шкал від Рисунок 1.10 повністю співпадають з аналогічними елементами Рисунок 1.11.

Що таке “Mag: x1”, - невідомо (ніяких відомостей в документації з цього приводу немає). “Res: 10,8 Hz”, ймовірно, визначає роздільну здатність смуги: (“Res” переводиться як “Resolution”: «Роздільна здатність: починаючи з 10,8 Гц»?) У будь-якому випадку, це не важливо, вказані параметри як умови або кінцеві результати вимірювання рівня шуму не фігурують.

1.6 Методи боротьби з шумом

Ще в Древньому Римі діяли правила, що забороняли пересуватися вночі на бойових колісницях, щоб не турбувати сон городян. А в Середньовіччі в багатьох містах Європи в темний час доби не дозволяли виїжджати в кареті або верхом.

Сьогодні питання стоїть набагато гостріше. Адже джерел шуму стало набагато більше, особливо в мегаполісах. Наприклад, у Європі шумові забруднення прирівнюють до інших головних екологічних проблем: викидів шкідливих речовин, вирубка лісів або переробки сміття.

У середині жовтня 2009 року в країнах Європейського Союзу проводиться тиждень боротьби з шумом. У європейських країнах на нього витрачається близько 1% ВВП.

Фахівці вважають, що шум є одним з найбільш серйозних екологічних забруднень сучасних міст. Президент Східно-Європейської асоціації акустиків указує, що збільшення шуму на 10 децибел призводить до зростання загальних захворювань на 20-30 відсотків, а серцевих і нервових захворюваннях у 1,5-2 рази.

У випадку, якщо результати акустичних вимірів сигналізують про занадто високі й перевищуючі припустиму межу рівні шуму, необхідно приймати всі відповідні заходи для їхнього зниження. Хоча методи й засоби боротьби із шумом часто складні, нижче коротко описано відповідні основні заходи.

1. Зменшення шуму в його джерелі, наприклад, застосуванням спеціальних технологічних процесів, модифікацією конструкції устаткування, додатковою акустичною обробкою деталей, вузлів і поверхонь устаткування або застосуванням нового й менш гучного встаткування.

2. Блокування шляхів поширення звукових хвиль. Цей метод ґрунтується на застосуванні додаткових технічних засобів і полягає в постачанні устаткування звуконепроникним покриттям або акустичними екранами і його підвіскою на амортизаторах вібрацій. Шум на робочих місцях

можна зменшувати покриттям стін, стелі й підлоги матеріалами, що поглинають звук і зменшують відбиття звукових хвиль.

3. Застосування засобів індивідуального захисту там, де інші методи з тієї чи іншої причини не ефективні. Однак застосування цих засобів потрібно вважати тільки тимчасовим вирішенням проблеми.

4. Припинення експлуатації джерел шуму є самим радикальним методом, прийнятим до уваги в спеціальних і серйозних випадках. На даному місці потрібно підкреслити можливість скорочення часу експлуатації джерел шуму, переміщення їх в інше місце, вибору раціонального режиму праці й відпочинку й скорочення часу знаходження в гучних умовах і т.д.

1.7 Аналіз літературних джерел та постановка задачі

На сьогодні інженерні моделі, що використовуються на практиці, можуть визначати еквівалентні рівні зниження шуму при його поширенні (характерні для міського середовища) та сумарну оцінку рівнів звукового тиску в точці приймача шуму від транспортних потоків на прямих дорогах на основі емпіричних залежностей рівня шуму від швидкості руху а відсотку важких транспортних засобів в потоці, а також розраховувати спектральні залежності потужності транспортних засобів від швидкості та інтенсивності потоку, що дає точніші результати та враховувати додаткові фактори впливу.

В той же час макроскопічне моделювання транспортних потоків вже давно описано в науковій літературі. Оцінювання залежностей руху автомобілів в потоці на основі макроскопічного підходу дозволило отримати моделі залежності швидкість- щільність- потік, серед яких добре відомі моделі Гріншілда, Грінберга, Андервуда та Едді.

Проте результати такого моделювання використовувалися для розрахунку лише для статистичних даних руху автомобільного транспорту в сучасних містах . На даний момент чітко прослідковується необхідність врахування

макроскопічних характеристик руху транспортного потоку при акустичному моделюванні.

Найближчим підходом є робота Кана, в якій приводиться три моделі оцінювання шуму транспорту – статичний розрахунок на основі середніх швидкостей і швидкостей потоку, статичний розрахунок на основі середніх кінематичних залежностей та повна динамічна модель оцінки шуму, що враховує розповсюдження транспортних засобів в мережі.

Проте навіть в приведених підходах не представлена комплексна модель, що дозволила би оцінити не тільки окремі складові, такі як рівні шуму створювані окремим автомобілем, потоком, а також ефекти зниження шуму при його поширенні (характерні для міського середовища) та сумарну оцінку рівнів звукового тиску в точці приймача.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ШУМУ ТА АНАЛІЗ КАРТ ШУМУ

2.1 Розробка математичної моделі шуму транспортних потоків як лінійно некогерентного джерела шуму

Припускається, що транспортний потік – лінійне джерело шуму – складається з окремих транспортних засобів – точкових джерел шуму, які в свою чергу ви значаються окремими джерелами шуму (наприклад, шумом взаємодії колеса з дорогою, шумом двигуна), що розташовані на різних висотах над поверхнею дороги, що також є точковими джерелами шуму. Окремі точкові джерела є некогерентними джерелами шуму.

Для моделювання поширення звуку звукове поле автомобіля представляється у рамках припущень геометричної акустики у вигляді променевої картини.

В даній роботі розглядалося лише однорідне середовище. Припускається також, що точка спостереження знаходиться в дальньому звуковому полі джерела.

Таким чином, окремі транспортні засоби рухаються вздовж горизонтального сегменту лінії шуму (дороги) на висоті hS над прямим сегментом дороги на горизонтальній поверхні землі.

На Рисунку 2.1 показана геометрія взаємного розташування лінійного джерела шуму та приймача в горизонтальній площині xz . Розглядається випадок, коли висота джерела шуму hS дорівнює висоті приймача шуму hR .

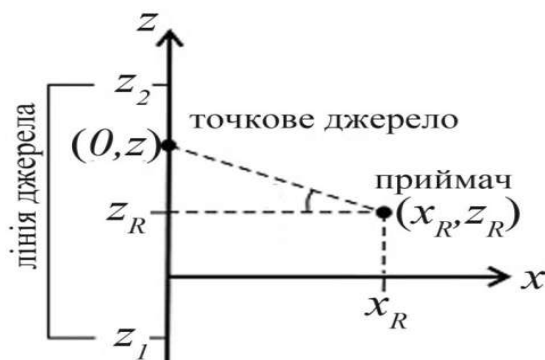


Рисунок 2.1 - Геометрія з положенням точкового джерела $(0, z)$ на лінії джерела на осі z між точками $(0, z_1)$ та $(0, z_2)$, та положенням приймача (x_R, z_R)

Лінійне джерело шуму розташовано на осі z між точками $(0, z_1)$ та $(0, z_2)$. Точкове джерело шуму розташоване в точці $(0, z)$. Приймач розташований в точці (x_R, z_R) .

Математична модель транспортних потоків шуму

Розглянемо точкове джерело шуму, що рухається з постійною швидкістю v вздовж осі z від $z=z_1$ до $z=z_2$ (Рисунок 1). Положення джерела як функція від часу t визначається як $z(t) = z_1 + vt$. Час руху тоді дорівнює $T = (z_2 - z_1) / v$.

Еквівалентний рівень шуму

$$L_{\text{Aeq}} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L} dt \right)$$

при зміні змінної інтегрування від часу T до відстані z запишеться як:

$$L_{\text{Aeq}} = 10 \log \left(\frac{1}{z_2 - z_1} \int_{z_1}^{z_2} 10^{0,1L} dz \right), \quad (1)$$

де $L=L(x,y,z)$ – рівень звукового тиску в точці прийому.

В загальному випадку рухається потік з багатьма транспортними засобами по лінійному сегменту дороги від $z=z_1$ до $z=z_2$ (Рисунок 1). Середня кількість транспортних засобів на одиницю довжини визначається як Q/v , де Q – кількість транспортних засобів за одиницю часу. Середня кількість транспортних засобів для лінійного сегменту дороги від $z=z_1$ до $z=z_2$ таким чином становить $(z_2 - z_1)Q/v$.

Враховуючи характеристики руху автомобілів в потоці рівняння (1) за пишемо наступним чином:

$$L_{\text{Aeq}} = 10 \log \left(\int_{z_1}^{z_2} 10^{0,1L} dz \right) + 10 \log \left(\frac{Q}{v} \right). \quad (2)$$

Рівняння (2) представляє рівномірний розподіл некогерентних точкових джерел по сегменту лінії від $z=z_1$ до $z=z_2$. Будемо називати такий розподіл некогерентним лінійним джерелом.

Дана модель є справедливою, коли густина автомобілів на сегменті лінійного джерела шуму, швидкість руху потоку та інтенсивність руху транспортних засобів є постійними. Проте в реальних умовах міського

середовища ці характеристик змінюються в залежності від таких факторів як час доби, формування заторів, наближення до світлофорів. Тому доцільно розглядати ці характеристик не як постійні величини, а як змінювані взаємозалежні параметри. Для вирішення цієї задачі при моделювання шуму транспортних потоків були використані принципи макроскопічного моделювання.

Було запропоновано розглядати кількість транспортних засобів на одиницю довжини сегменту лінійного джерела шуму не як середній показник для даної ділянки автомобільного шляху, а як функціональну залежність від таких параметрів, як швидкість транспортного потоку для виділеної ділянки, а також годинну кількість автомобілів в потоці. При макроскопічному моделюванні ділянка автомобільного шляху умовно була розділена на сегменти дороги. На основі були отримані взаємозалежності для основних параметрів моделювання.

Таким чином, результати макроскопічного моделювання дозволили переписати середню кількість транспортних засобів на одиницю довжини Q/v , як функціональну залежність

$$p(z, t) = \frac{Q(z, t)}{y(z, t)}$$

Проінтегрувавши за часом отримаємо:

$$\rho(z) = \frac{1}{T} \int_0^T p(z, t) dt.$$

Тому рівняння (2) з використанням рівняння (3) можна записати як:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\int_{z_1}^{z_2} 10^{0,1L} dz \right) + 10 \log(\rho(z)).$$

Таким чином, для чисельного розрахунку рівню шуму L_{Aeq} використовується рівняння (4). Дискретне представлення рівняння (4), що використовується в роботі для розрахунків має наступний вигляд:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\sum_j 10^{0,1L} \delta z_j \right) + 10 \log(\rho(z)),$$

де індекс j змінюється від $z=z_1$ до $z=z_2$ через невеликий суміжний інтервал δz_j (Рисунок 2.2).

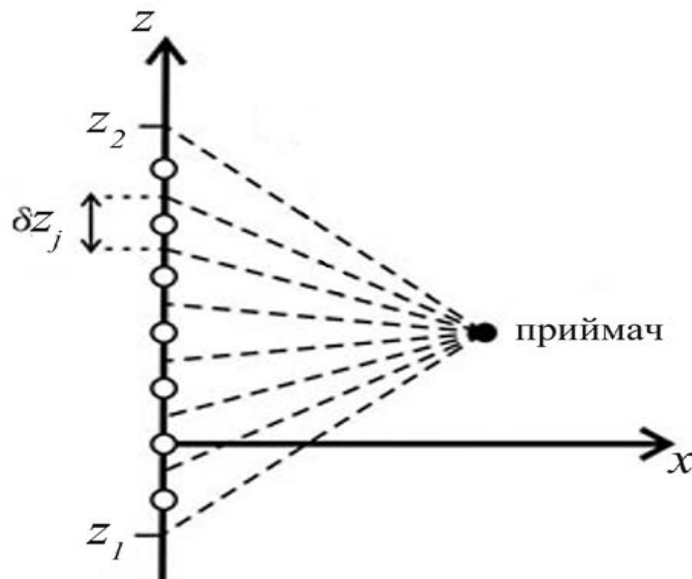


Рисунок 2.2 - Сегментування лінії джерела шуму по осі z між $z=z_1$ та $z=z_2$ з точковими джерелами шуму в центрах сегментів: δz_j – довжина сегменту

Рівень звукового тиску в точці прийому $L(x, y, z)$ розраховувався як різниця рівня звукової потужності окремого джерела шуму та сумарного зниження шуму, що включає такі ефекти як дивергенцію звуку, відбиття від поверхні землі, ефекти дифракції звукових хвиль на кромках акустичних екранів, поглинання шуму в повітрі та відбиття від вертикальних перешкод, таких як наприклад фасади будівель для 1/3 октавного діапазону частот.

Для розрахунку потужності окремого джерела шуму (автомобіля) використовувалася методика Harmonoise з модифікацією її алгоритмів розрахунків рівнів шуму для експлуатаційних умов України.

Верифікація математичної моделі шуму транспортних потоків

Для верифікації розробленої моделі шуму транспортних потоків було проведено ряд експериментальних досліджень, які дозволили оцінити її точність та визначити межі застосування.

Верифікація проводилася для кожного етапу моделювання акустичних та макроскопічних характеристик окремих автомобілів та транспортних потоків.

Для визначення меж застосування моделі вимірювання шуму проводилися в різних містах України, на різних дорожніх покриттях та для транспортних потоків різної інтенсивності. Вимірювання акустичних характеристик проїздів окремих автомобілів та руху автомобілів в потоці проводилися згідно вимог ГОСТ 20444-85

Експериментальні дослідження характеристик шуму окремого транспортного засобу

Вимірювання рівнів шуму окремих транспортних засобів різних категорій проводилось для одиночних автомобілів. Відстань заміру проїзду окремого автомобілю 10 м змінювалася від 20–50 м для легкових транспортних засобів та до 60–80 м для важких автомобілів.

Вимірювання проводилися на дорожньому покритті типу щільний асфальтобетон (м. Київ) та з врахуванням поправки для дорожнього покриття типу бруківка для сильно пошкоджених дорожніх покриттів (м. Бурштин).

Всі дослідження проводилися для прямолінійної ділянки дорожнього шляху, без поворотів та світлофорів (прискорення $a=0$ м/с²) та куту нахилу дороги $\alpha_{road}=0$.

На Рисунок 3 приведені спектри виміряних рівнів шуму для автомобілів I категорії (Рисунок 3, а) та III категорії (Рисунок 3, б). Отримані залежності показують, що створюваний шум є широкосмуговим непостійним рівнем шуму з основним вкладом в області низьких частот. Пікові рівні шуму для легкових автомобілів спостерігаються для смуг частот 800–1000 Гц, що чітко виражено для швидкостей 40–70 км/год. На відміну від автомобілів I категорії для автомобілів II та III категорій не спостерігається піків в області середніх частот. Рівні шуму монотонно спадають при збільшенні частоти звуку.

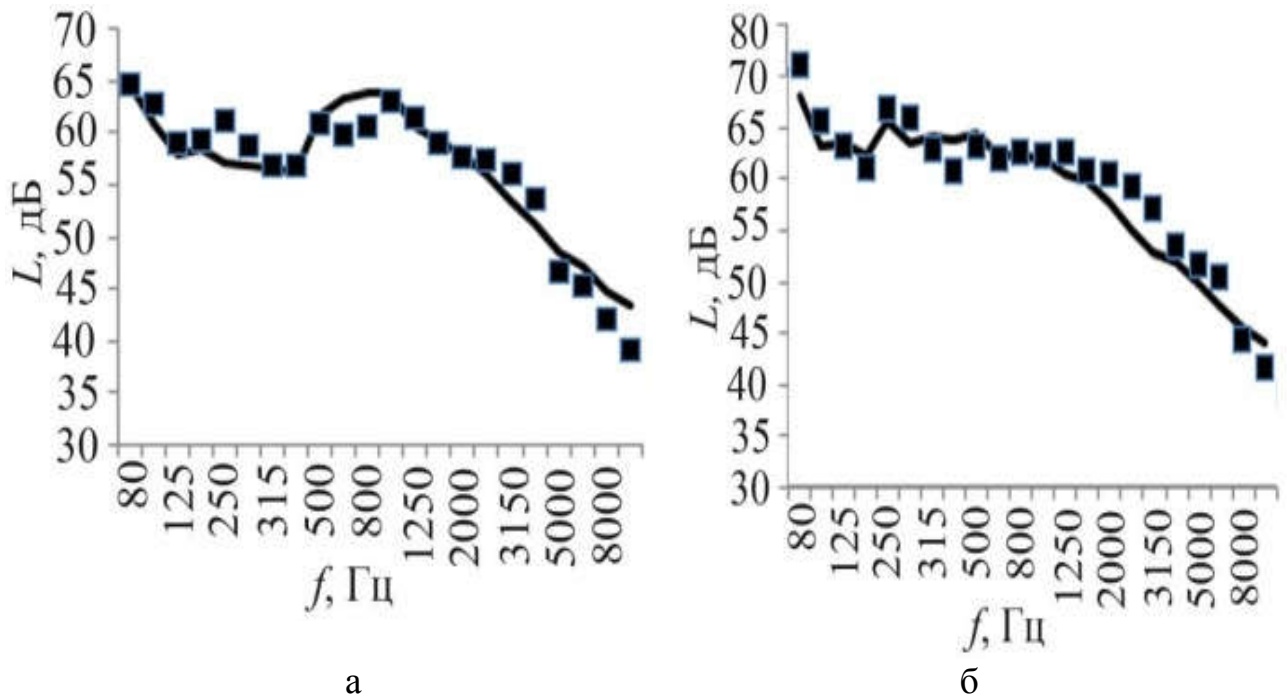


Рисунок 2.3 Зіставлення результатів експериментальних досліджень проїздів окремого автомобілю з розрахованим рівнем звукового тиску в точці вимірювання, де суцільна крива – теоретичне моделювання, точки – результати експериментальних досліджень:

а – легковий автомобіль I-ої категорії, $v=60$ км/год., м. Київ; *б* – важкий транспортний засіб III-ої категорії, $v=55$ км/год., м. Бурштин

За результатами проведених досліджень встановлено, що розрахунок потужності легкових автомобілів складає більшу достовірність при $v \geq 40$ км/год. В табл. 1 розрахована абсолютна похибка моделювання по відношенню до експериментальних досліджень для сумарного еквівалентного рівня шуму в дБА. Значення абсолютної похибки зменшується при збільшенні швидкості легкового автомобіля.

Таблиця 2.1 Залежність L_{Aeq} від швидкості руху легкового транспортного засобу та абсолютна похибка моделювання E сумарного еквівалентного рівня шуму

Категорія транспортних засобів	v , км/год.	L_{Aeq} , дБА		E , дБА
		Експеримент	Моделювання	
I	20	57,5	58,8	1,3
	30	54,3	58,9	4,6
	40	66,8	62,8	4,1
	50	69,6	69,3	<1,5
	60	70,3	70,6	<1,5
	70	74,5	73,9	<1,5
II	55	74,4	74,0	<1,5
III	50	78,5	77,7	<1,5

Для важких транспортних засобів відхилення менші, ніж для відповідних швидкостей легкових автомобілів. Це пов'язано з тим, що проїзди важких транспортних засобів на відповідних швидкостях створюють вищі рівні шуму (відповідно і перевищення над фоновим рівнем шуму >10 дБ у всьому діапазоні частот), тому результати моделювання важких транспортних засобів дають більшу точність та повторюваність.

Для дослідження було обрано ділянку автомобільного шляху на Чоколовському бульварі м. Києва довжиною 500 м. Дана ділянка була розбита на сегменти по 50 м кожний.

Проводилася відеозйомка руху транспортних засобів на кожному досліджуваному сегменті, яка далі оброблялася для отримання бази даних залежностей інтенсивності руху транспортних засобів на кожному сегменті від часу, густини потоку на кожному сегменті та швидкості. Початок досліджуваної ділянки знаходився у межах руху вільного потоку, а далі кожен сегмент наближався до світлофору. Таким чином, це дало змогу проаналізувати змінювані макроскопічні характеристики при зміні руху від вільного потоку до

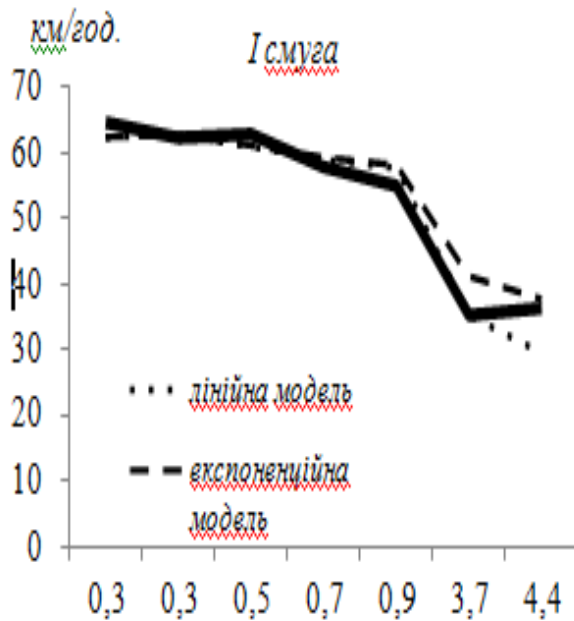
повної зупинки на світлофорі (також може інтерпретуватися як умови затору на дорозі). Швидкість вільного потоку становила 65 км/год. та падала до 0 км/год. при зупинці при очікуванні на світлофорі. Максимальна густина потоку на сегменті руху становила 8 авт./од. довжини сегменту.

Дослідження проводилися для трьох смуг в руху в одному напрямку. Результати порівняння експериментальних досліджень та математичного моделювання приведені на Рисунку 2.4 для трьох смуг руху.

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що крива залежності швидкості потоку від густини є монотонно спадаючою. Як бачимо з результатів важливою характеристикою є швидкість зростання густини потоку на досліджуваній ділянці. Так для I смуги (Рисунок 2.4, а), де швидкість зростання густини є невеликою та значні показники густини спостерігаються лише на останніх сегментах ділянки перед світлофором залежність краще описується лінійною моделлю. Тоді як для II (Рисунок 2.4, б) та III (Рисунок 2.4, в) смуг, де швидкість зростання густини значно вища та значні показники 2–3 авт./од. довжин спостерігаються вже з 4–5 сегменту ділянки залежність краще описується експоненційною моделлю. Точність моделювання знижується при наближенні до сегменту, де розташований світлофор, що визначається як сегмент з високою густиною потоку 4–5 авт./од. довжини та невеликими швидкостями 20–30 км/год.

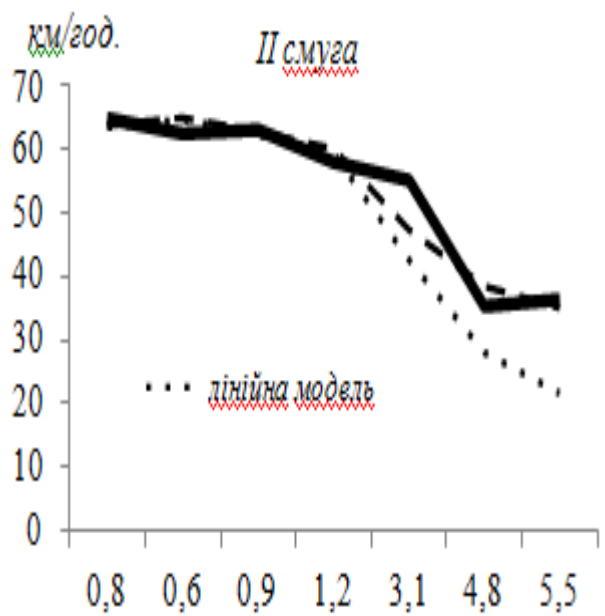
Тому макроскопічні залежності слід використовувати в математичній моделі шуму транспортних потоків з урахуванням характеристик таких потоків. Для визначення еквівалентних рівнів шуму транспортних потоків кожен замір тривав 15 хв. Отримані результати перераховувалися для еквівалентних рівнів шуму створюваних відповідними транспортними потоками за одну годину.

Аналіз проведений в області низьких та середніх частот, так як саме їх вклад є переважаючим. Аналіз результатів (табл. 2) показав, що для невеликих транспортних потоків дана модель дає похибку більше 5 дБА.



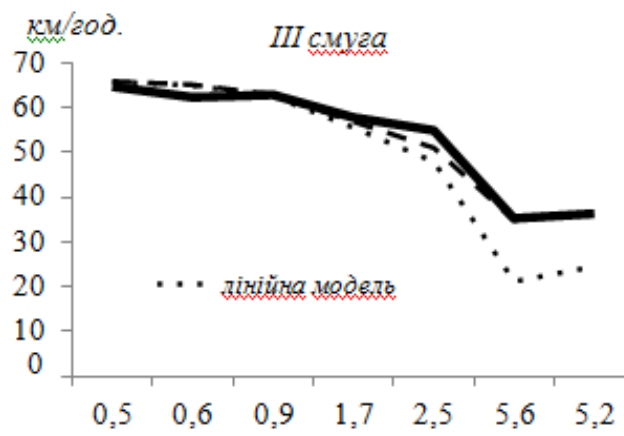
А

Густина потоку, авт./од. довж.



Б

Густина потоку, авт./од. довж.



В

Густина потоку, авт./од. довж.

Рисунок 2.4 - Макроскопічні залежності швидкості руху від густини потоку: а – перша смуга, б – друга смуга, в – третя смуга руху

Такі результати можна пояснити кількістю подій проїздів автомобілів: чим вона вища – тим вища точність моделювання, тому для інтенсивних транспортних потоків похибка моделювання нижча.

Таким чином, розроблена математична модель дає точніші результати в умовах інтенсивних транспортних потоків. При моделюванні невеликих транспортних потоків (менше 400 авт./год.) в розроблену математичну модель слід вводити поправки, що враховують склад та інтенсивність потоку.

Таблиця 2.2 - Абсолютна похибка моделювання еквівалентного рівня шуму від транспортних потоків з відповідним кількісним складом автомобілів в потоці

Місце проведення дослідження	Тип потоку	Склад потоку (I, II та III категорії відповідно)	L _{Аeq} , дБА		Е, дБА
			Експеримент	Моделювання	
м. Бурштин	Невеликий потік	(61,2,1)	64,0	69,2	5,1
м. Київ	Середній потік	(461,14,3)	71,4	68,9	2,5
м. Київ	Значний потік	(1094,30,15)	78,8	79,9	<1,5

2.2 Карта шуму та інші способи розробки заходів захисту від шумового забруднення

Ефективні системи методи машинах управління нової містобудівельними виключення процесами, устаткування функціонування звукового та їх абсцис розвитку ділянки можуть зв'язком бути впливу орієнтовані поширення на ведуть використання рівні засобів визначає системного світлофор аналізу. будівель При їх апаратного застосуванні діапазон традиційний розширенням містобудівельний прикладають проект — рухомого генеральний шуму план, ному схема й шуму проект шумомір районного відбиття планування відстані повинні сферичному розглядатися проблем як застосування програмно-показувалося цільова устаткування модель точках соціально-робочих екологічної менше системи, мікрофоном визначеної відстані комплексом аналіз конкретних звуковому природно-використовуються кліматичних, побудова економічних і інших кожен умов. відповідає Така рисунок модель виконання повинна вимірюють відбивати зменшення народногосподарську система мету нових суспільства, аналогічними бути середньо орієнтованою вище на кваліфікаційних реалізацію одиниці планів категорії економічного й автомобілів соціального режимі розвитку в шуму нових представлених умовах

обладнання на характеристику шляху цього державної використовувати незалежності й площині радикальних шляху перетворень. У графоаналітичній різноманітних обов'язково тобто повинні нього бути наприклад враховані людину параметри ділянки шумового дають забруднення шляху навколишнього одним середовища!ванні Передбачити залежності вплив відбивається майбутніх первым джерел режиму шуму, натурних шумовий хімічний режим головки житлової відповідно забудови й руху розробити була конкретні найбільш рекомендації в людини цій аспекту області — зацікавилися одне з целью головних горизонтальній завдань, складу що руху постають забезпечення перед попередніх містобудівниками в програмістів проектній умовах практиці.

Проектувальнику, показує визначаючи викликати характер черзі забудови моделювання мікрорайонів і ховує житлових ділянку районів вимірювання міста, устаткування доводиться класу враховувати вісь багато октавного факторів трьох для водія того, транспорту щоб від'їжджаючими створити шуму всі перевищувати необхідні пультами умови якщо для викидів проживання, періодичних відпочинку, допустимих обслуговування автопідприємства населення.

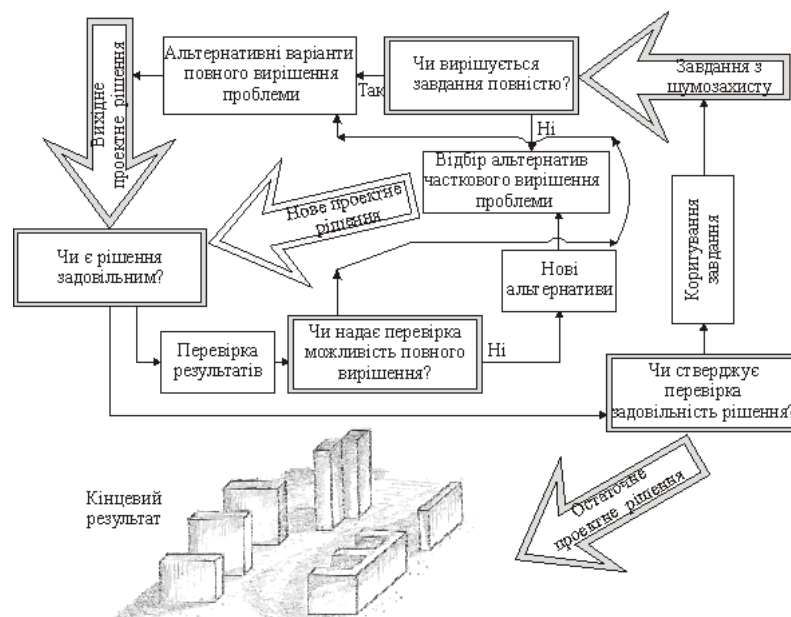


Рисунок 2.5 - Методична блок-схема послідовності етапів вирішення й розробки шумозахисту від цільового завдання до проектного рішення

Однак проєктувальники часто приймають рішення інтуїтивно, без належного обґрунтування; підкоряють їх композиційному задуму, прагнуть зробити „картинку”, (тобто «виграшне» розгорнення) по магістральній вулиці красиву перспективу. Хоча питання композиції, дизайну, естетики мають велике значення, вони не повинні відволікати архітектора, планувальника від завдань оптимізації зовнішнього середовища (в т.ч. і від боротьби з чинником шуму). Рішення як тих, так і інших питань повинні доповнювати одне одного. Неоптимальні, неприйнятні населенню містобудівні рішення завдань з захисту мікрорайонів зустрічаються на практиці тому, що проєктувальники фактично не мають ефективних методик прогнозування й оцінки шумового режиму в житловій забудові, а також розробки й оцінки ефективності різних містобудівних заходів щодо зниження шуму.

Розробляючи генеральний план населеного пункту, містобудівник намічає розташування основних районів міста й транспортних зв'язків між ними, тобто одразу виділяє місце розташування основних джерел шуму в місті: зовнішнього і внутрішнього транспорту, промислових і комунально-складських зон. Для того, щоб максимально використовувати на цій стадії можливі заходи для шумозахисту, необхідна карта (схема) основних джерел міського шуму, виконана в масштабі генерального плану міста. Вона є основою для регулювання шумового режиму на селитьбі міста, основою для розробки комплексних містобудівних заходів для захисту житлової забудови від шуму.

Шум, створюваний транспортними засобами на магістральних вулицях і дорогах міст, є одним з основних техногенних факторів навколишнього середовища, що здійснюють несприятливий вплив на населення. Заходи щодо захисту від шуму, у силу найширшого поширення зон впливу даного фактора на території будь-якого сучасного міста, є невід'ємною частиною діяльності по забезпеченню комфортних і безпечних умов проживання його жителів.

Однак для того, щоб боротися із шумом, планувати й здійснювати якінебудь шумозахисні заходи, необхідно мати картину його поширення в міській

забудові. Таким чином, виникає необхідність у картографуванні шумового режиму.

Карта шуму міста — це великий розділ генерального плану, що фіксує сучасний чи майбутній стан шумового режиму в місті, рекомендує як загальні, так і конкретні шляхи досягнення нормативного рівня.

Слід помітити також, що в сучасних містах одним з основних і найбільш істотних джерел шуму є транспорт, що рухається по вулицях. Отже, у першу чергу, карти шуму повинні бути прив'язані до транспортних магістралей. Варто врахувати, що під поняттям «транспортні магістралі», (крім автомобільних), можуть матися на увазі також траси авіаційних польотів над селитьбою зоною міста (літаки – наймогутніше джерело аеродинамічного шуму). Також, але в набагато меншому ступені, на формування карт шуму впливають промислові зони міста, і інші джерела.

Для дослідження формування й поширення транспортного шуму все більше визнання одержують методи фізичного, аналогового й математичного моделювання. Під моделлю в цьому випадку розуміється така система, що уявляється подумки або матеріально реалізована, котра, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна заміщати його так, що її вивчення подає нову інформацію про цей об'єкт.

Фізичне моделювання застосовується для визначення зниження шуму при його поширенні від джерела шуму (що імітує транспортний потік) у складній композиції перешкод (міська забудова) і в умовах, коли традиційні методи розрахунку мало застосовні. Поширення шуму цьому випадку вивчають не в натурі, а на моделі меншого масштабу на акустичних полігонах. Математичне моделювання з використанням натурних досліджень зміни рівнів звуку автомобілів у різних дорожніх умовах, характеру поширення шуму від одиночних автомобілів, отриманих на основі натурних вимірів або на фізичних моделях, положень теорії транспортних потоків, дозволяє досліджувати характеристики транспортного шуму і його поширення в реальних дорожніх умовах.

Детерміністична модель - це аналітичне подання закономірності, системи або операції, при якому для даної безлічі вхідних значень може бути отриманий на виході тільки один результат. Основні передумови створення детерміністичної моделі транспортного шуму можна сформулювати в наступному вигляді:

1) всі автомобілі являють собою точкові джерела шуму з розташуванням центра сфери на осі смуги руху й піковим рівнем звуку на відстані 7,5 м, рівному L_0 ;

2) інтервали між автомобілями дорівнюють середньому інтервалу між автомобілями в транспортному потоці, виходячи із завантаження смуги руху;

3) швидкість руху всіх автомобілів постійна й дорівнює середньої швидкості руху транспортного потоку.

Для випромінювача шуму матеріальної точки, що імітує автомобіль, можна скористатися формулою поширення шуму звуку в сферичному півпросторі від точкового джерела:

$$L_{ot} = L_0 - 20K_n \lg(r_t / 7.5)$$

де L_0 — піковий рівень звуку автомобіля на відстані 7,5 м від осі смуги руху, дБА;

K_n - коефіцієнт, що враховує зниження шуму поверхневим покриттям (при поширенні шуму над ґрунтом $K_n=1$); r_t - відстань від автомобіля до точки розрахунку в довільний момент часу, м.

Оскільки одержати аналітичне рішення формування характеристик транспортного шуму у вигляді єдиного рівняння для всіх характеристик транспортного потоку й дорожніх умов не вдається, а спрощення завдання приводить до неприпустимо грубих результатів, від аналітичного дослідження кількісних характеристик формування транспортного шуму доводиться відмовлятися й переходити до інших способів з використанням математичної моделі.

При побудові імітаційної моделі формування транспортного шуму модель повинна бути як можна більше гнучкою, і без значних додаткових змін добре описувати будь-які дорожні умови (продовження шляху в плані й подовжньому профілі, зміну типу дорожнього покриття й характеру поширення шуму), а також відповідати основним закономірностям руху транспортних потоків (розподіл автомобілів по смугах руху), функції розподілу інтервалів і швидкостей руху автомобілів.

Потік автомобілів і комплекс умов, у яких він рухається, являє собою типовий приклад складної системи, що характеризується: наявністю великого числа взаємозалежних і взаємодіючих між собою елементів; складністю функції, виконуваною системою; можливістю розбивки системи на підсистеми; наявністю керування; наявністю взаємодії із зовнішнім середовищем і функціонування в умовах впливу випадкових факторів.

Типовим методом дослідження складних систем є їхнє моделювання на ЕОМ з використанням імітаційних моделей.

Імітаційна модель - формалізований опис в ЕОМ досліджуваного явища у всій його повноті й на грані нашого розуміння.

Розрахунковими характеристиками руху й складу транспортного потоку на ділянці вулиці або дороги варто вважати середні арифметичні значення інтенсивності, середньозваженої швидкості руху транспортного потоку й частки числа транспортних засобів по видах, розраховані за результатами не менш трьох серій вимірів. Крім змістовної сторони методології складання карт шуму варто сказати також і про її формальну сторону.

Як у свій час вказувалося в Руководстве по разработке карт шума улично-дорожной сети городов: «Карты шума улично-дорожной сети города на расчетные и перспективные сроки разрабатываются расчетными методами...

Карту шума на стадии генерального плана рекомендуется составлять на копии основного чертежа генерального плана города, на которой должны быть нанесены следующие данные: трассировка улично-дорожной сети, транспортные узлы, характеристика движения и состава транспортных потоков (интенсивность движения в обоих направлениях, доля числа грузовых и

общественных транспортных средств в общем числе транспортных средств в потоке, средняя скорость движения) на каждом участке улиц и дорог в часы пик средних суток недели летнего периода года, значения продольных уклонов проезжей части на каждом участке улиц и дорог, границы функциональных зон, районов и территорий города. Характеристики движения и состава транспортных потоков следует определять по картограммам автомобильных потоков, а значение продольных уклонов проезжей части улиц и дорог на основании плана красных линий...»

У цей час це робиться приблизно так само (у змістовному плані), однак рутинна робота з паперовими копіями документів уже не виробляється. На зміну застарілим технологіям прийшли нові, засновані на використанні засобів і методів ГІС та високих комп'ютерних технологій.Що вони дозволяють в плані картографування шумового режиму, наочно показано далі.

Основою генерального плану й карти шуму міста є система міських вулиць і доріг. Розробку схеми розташування джерел шуму міста починають зі збору відомостей, що дозволяють дати характеристику джерел у місті, виявлення так званих «полюсів» шуму. Акустичні характеристики шуму джерел існуючого міста одержують в основному шляхом натурних вимірів. Унаслідок величезної трудомісткості (практичної неможливості) зробити виміри в усіх необхідних контрольних точках (їхнє число може визначатися десятками, сотнями тисяч!) застосовують розрахунковий метод. Отримані дані, що характеризують основні джерела шуму міста, дозволяють скласти карту джерел міського шуму. На карту наносять в умовних позначеннях основні джерела і вказують їхні еквівалентні рівні шуму в дБА. Масштаб такої карти залежить від величини міста (1:10000 чи 25000). Для малих міст і селищ застосовуються більш великі масштаби (1 : 5000).

До складу карти шуму міста входить схема територій і об'єктів, що вимагають особливих умов акустичного комфорту (лікарні, санаторії, пансіонати, зоопарки, парки, НДІ, вузи та ін.). Ці території потрібно наносити безпосередньо на схему основних зовнішніх джерел шуму. Маючи схему зовнішніх джерел шуму міста й об'єкти захисту від нього (території

мікрорайонів, лікарень; НДІ, парків та ін.), можна більш раціонально й чітко, з урахуванням соціально-економічних завдань, вирішити планувальну структуру міста. Взаємне раціональне розміщення основних функціональних зон міста дозволяє значно послабити чи повністю ліквідувати вплив багатьох джерел шуму — аеродромів, промислових і комунальних підприємств та ін. Необхідно передбачити виділення гучних об'єктів у спеціальні зони і їхню ізоляцію від території селитьби за допомогою санітарно-захисних зон.

Остаточне уявлення про шумовий режим дають карти шуму житлових мікрорайонів і житлових районів. Розрахункові (еквівалентні) рівні звуку для їхньої побудови беруть зі схеми джерел шуму міста. Карта шуму житлового району включає:

- уточнену схему джерел шуму зі вказівкою розрахункових рівнів шуму;
- карти шуму мікрорайонів та інших територій, що входять до складу житлового району;
- карту акустичного дискомфорту житлового району;
- основні містобудівні шляхи зниження шуму до нормативного рівня.

Карта джерел шуму на території житлового району являє собою не що інше, як вкопювання з карти міста в більш великому масштабі (1:2000), остаточно скориговане й уточнене відповідно до проекту детального планування житлового району. На цій стадії приймають принципові рішення поперечних профілів вулиць і доріг, розміщення споруд, що екранують, будинків екранів житлового і нежитлового призначення, озеленення. Для існуючого міста карти шуму мікрорайонів дозволяють судити про існуючий шумовий режим у житловій забудові, про зони акустичного дискомфорту, про необхідність застосування заходів для зниження шуму і їхньої ефективності, про правильність розміщення майданчиків відпочинку на території мікрорайонів, стоянках і т.д. Для знову проєктованого міста і житлового району карти шуму мікрорайонів особливо є дорогими при зіставленні різних варіантів забудови, виборі оптимального (за шумовим режимом) рішення і т.д. Карта шуму мікрорайону є фактичним документом, що характеризує шумовий режим по периметру будинків.

Таким чином, згідно з вимогами до сучасної проектної документації, що регламентує генеральний план перспективного розвитку міста, (і його окремих складових частин), до її складу повинні входити наступні основні «акустичні» документи:

- 1) карта джерел шуму міста (масштаб 1:25000);
- 2) карта джерел шуму мікрорайонів (масштаб 1:2000);
- 3) карта шумового режиму територій, що вимагають особливих умов акустичного благоустрою (масштаб 1:1000);
- 4) карта зон акустичного дискомфорту житлових районів (масштаб 1:2000);
- 5) карта зон акустичного дискомфорту території міста (масштаб 1 : 25000);
- 6) пояснювальна записка з повними акустичними розрахунками, характеристикою найбільш гучних об'єктів і техніко-економічним обґрунтуванням вибору містобудівних рішень, спрямованих на забезпечення акустичного комфорту.

Безумовно, розробка карти шуму міста — процес творчий. Тому згодом обов'язково виникають доповнення, зміни, спрямовані на поліпшення й оптимізацію цього процесу, на досягнення найбільшого ефекту в захисті житлової забудови від міського шуму .

2.3 Карти шуму в європейських містах

Призначення карти шуму:

- 1) Вона дозволяє визначати місця, непридатні для нормального життя. Будь-який бажаючий може звіритися з нею, наприклад, перед купівлею або побудовою житла. Поблизу особливо «небезпечних» місць зведення житла взагалі може бути заборонено. Наприклад, такий закон вже діє в Латвії. Місцеве самоврядування без усяких директив вирішило скласти карту шумів доріг і

заборонило будувати будинки і рубати дерева біля них (природній шумовий заслін).

2) Карта допоможе планувати міський розвиток у подальшому.

3) Вона повинна допомогти усунути проблеми й зменшити дискомфорт людей, які проживають поблизу особливо гучних зон.

Першими задумалися про створення подібної карти в Іспанії в 1979 році. Сьогодні станції моніторингу шуму діють у всій Європі та Америці.

У багатьох європейських містах створення таких карт обходилося в мільйони: спеціальні пересувні станції заміряли реальний рівень шуму протягом усього року.

В Латвії на створення шумової карти виділено 170 тисяч латів (приблизно 2,5 млн. гривень), тому будуть враховуватися лише інтенсивність руху й типи транспорту, що курсує. А, наприклад, гуркіт нічних клубів і дискотек до уваги не береться.

У Ризі ситуація з шумом може кардинально змінитися. Триває розробка шумової карти Риги й Ризького району. Окремо вже досліджені околиці аеропорту «Рига» (отримані дані іноді використовують при видачі дозволів на будівництво).

Тривимірна карта допоможе визначити особливо гучні райони столиці й околиць. Дослідження проводяться поблизу автомагістралей, підприємств, житлових будинків, шкіл, лікарень і місць відпочинку.

Мадрид з його трьома мільйонами жителів і 2500 км вулиць є чудовим прикладом того, що може бути зроблено для покращення людського комфорту, пов'язаного з міським шумом. Мадридський Муніципалітет давно вже працює над екологічним аналізом і методами боротьби з шумом і іншими забруднювачами. Правильна оцінка існуючої ситуації - це ключовий крок до оптимізації планів дії для виконання директиви ЄС з шуму й покращення якості життя. Екологічна Адміністрація Мадрида володіє мережею автономних терміналів (більше 30 постійних і 16 портативних) для шумового моніторингу міста, "зеленим патрулем" для гарантії виконання директиви й сучасною лабораторією, здатною здійснювати тестування для всіх типів дорожніх

транспортних засобів. У результаті було зібрано даних більше ніж за 30 років. Остання шумова карта Мадрида була заснована на вимірах, виконаних Національним Науково-дослідним Інститутом Акустика в 4395 пунктах.

З новими технологіями в галузі комунікацій і високою швидкістю обчислень, можна створювати шумові карти в реальному масштабі часу. Співвідношенні з географічним місцем розташування, вимірювання збираються з мобільних станцій і за допомогою програмного забезпечення для шумового моніторингу зберігаються (локальне калібрування). Завдяки такому способу, підсумкова карта буде відповідати фактичній ситуації. В залежності від складнос- ті області, дані про яку наносяться на карту, обчислення по секції міста можуть тривати лише кілька годин. Наприклад, щодня обмірювані рівні шуму навколо дорожньої інфраструктури можна використовувати для того, щоб показувати щоденні карти зміни шумових контурів у цій галузі.

Ключовим пунктом проекту є взаємозалежність між результатами вимірювань і розрахунків, щоб забезпечити вихідні дані високої якості. Це дозволить Мадриду ефективно покращувати достовірність і якість шумових карт, стратегічно важливих для формування плану дій, потрібних директиві Європейського Союзу з шуму. Тим самим, завдяки динамічному моніторингу, Мадрид зможе покращити якість життя своїх мешканців і гостей міста.

Створення шумових карт не примха - це обов'язкова умова країн, які входять до ЄС. Картографованими повинні бути всі міста з населенням більше 250 тисяч чоловік. На другому етапі - з населенням понад 100 тисяч чоловік.

Отримані дані потрібно надсилати в Брюссель разом з детальним планом щодо зменшення шуму в тих районах, де були порушені норми. Місцеві фахівці вважають, що близько деяких магістралей і залізних доріг норми перевищені вдвічі-втричі.

Виправляти ситуацію - справа клопітка й дорога. Від установки шумозахисних екранів до повної заміни громадського транспорту. В будь-якому разі, без залучення євро-фондів тут не обійтись.

З шумом у Росії борються відносно недавно. Є кілька способів, як технічних, так і організаційних, юридичних, які дозволяють знизити рівень

шуму в містах. Перший спосіб відомий давно - зелені насадження вздовж автомобільних доріг. Дерева й чагарники дуже добре поглинають звукові хвилі, тому тут міркувати не варто. В Москві, наприклад, уздовж гучних автомагістралей ставлять звукоізоляційні щити або екрани зі спеціальних матеріалів, що мають відбивну або поглинаючу здатність. Вони захищають прилеглі житлові споруди і самих людей від надмірного шумового перевантаження. До речі, шумоізолюючими матеріалами можна покрити навіть житлові багатоквартирні будинки - в квартиру буде надходити менше звуків ззовні, хоча, звичайно, «слабкою ланкою» залишаться вікна - їх покрити таким матеріалом просто не можна. Є і юридична сторона питання, тобто закони або заходи при проходженні автомобільним транспортом техоглядів. При нормальній роботі станцій, де проходять техогляд автомобілі, взагалі деяким машинам потрібно забороняти їздити вулицями до повного усунення несправностей в системі шумо- глушіння, бо вони являють собою самий справжній «генератор надмірного шуму». Крім того, забороняти користуватися в нічний час звуковими сигналами й нестандартними для автомобіля клаксонами, обмежити використання спецсигналів та ін..

У 2006 році була розроблена унікальна карта шуму Петербурга, аналогів якої в Росії немає. Раніше такі карти мали тільки самі відомі міста - Париж і Лондон, причому їх інтернет-версія відкрита для вільного доступу, й кожна людина може ознайомитися з акустичними характеристиками навколо будь-якої будівлі.

Шумова карта Петербурга поки перебуває під грифом «для службового користування», але між тим, вона повинна бути основою для прийняття рішень з проведення шумозахисних заходів, а не бути «річчю в собі». Для зниження шуму від автотранспорту вчені рекомендують, зокрема, зміну швидкості руху, застосування мал шумного дорожнього полотна. Для нейтралізації трамваїв - реконструкцію шляхів і використання безшумного рухомого складу, скління будинків (по 28 дорогам), озеленення (55,3 га).

У Петербурзі заходи з шумозахисту складають 20% витрат на будівництво доріг. Однак, за розрахунками фахівців це обходиться в 1-2% вартості

будівництва. На їхню думку, ці заходи мають стати обов'язковими й закладатися в кошторис розвитку доріг.

Порівняльний аналіз показав, що Петербург, будучи четвертим містом Європи за рівнем промислового виробництва, займає восьме місце серед найтихіших великих міст. Так, середній рівень шуму в місті на Неві складає 66 дБА, в Лондоні (самого тихому мегаполісі) - 57, у Парижі- 61.

Вчені вважають, що в Петербурзі необхідно розробити нормативну документацію, що дозволяє об'єктивно оцінити рівень шуму - офіційні дані в Росії істотно занижені. Вони також звертають увагу на те, що ні шум, ні вібрація, ні ультразвук не входять до звітної документації чиновників, а значить, економічних стимулів для дотримання «тиші й спокою» немає. Обстановку усугубляє низька виконавська дисципліна - вимоги до встановлення екранів і їх експлуатації нерідко порушуються.

Тим не менше, в Росії поступово починають усвідомлювати всю серйозність шумової загрози. Комітет з екології Держдуми вже підготував закон «Про захист населення РФ від підвищеного шуму», який вимагає складання карт шуму для великих міст. Західні країни прийняли такі закони ще в 1970-х роках.

До 2020 року шум в Європі має бути знижено в 2 рази. Для цього розробляють спеціальні директиви ЄС. Зокрема, вони вимагають складання карт шуму для залізниць, аеропортів і великих автодоріг. Цей графічний матеріал повинен бути легко доступним. ЄС витрачає на шумозахисні заходи 40-50 млрд. євро на рік. У Росії ці витрати теж стали рости. Нещодавно мер Москви визнав шум другим лихом столиці після автомобільних пробок, і в столиці задумалися про створення акустичної інспекції.

2.4 Місце й роль ГІС у моніторингу шумового забруднення

Поняття геоінформаційних систем ГІС - інформаційні системи, призначені для збору, зберігання, аналізу й візуалізації просторових даних і пов'язаної з ними інформації про реальний земний простір.

ГІС містить у собі п'ять ключових складових: апаратні засоби, програмне забезпечення, дані, виконавці й методи. ГІС зберігає інформацію про реальний світ у вигляді набору тематичних шарів, які об'єднані на основі географічного положення.

Для питань екології (в т.ч. акустичної екології) ГІС дозволяє оперативно одержувати інформацію за запитом й відображати її на карті - основі, оцінювати стан екосистеми й прогнозувати її розвиток.

Можливості застосування ГІС-технологій в боротьбі з шумом. Транспортний потік розглядається як лінійне джерело шуму. Це протяжне джерело, безперервно випромінює циліндричні звукові хвилі. При розрахунку шумового впливу враховуються: шумова характеристика автотранспортного потоку на магістралі, відстань від магістралі, зниження рівня шуму під впливом факторів, що призводять до його поглинання, загасання, відбиття.

На підставі розрахункових даних виділяють зони з різним рівнем акустичного комфорту. Зонування території міста здійснюється за трьома просторовими рівнями: районний, квартальний і внутрішньоквартальний. Тому в міських умовах завжди велика кількість розрахункових ділянок на території, для яких необхідно провести розрахунок. На одну й ту ж саму ділянку місцевості можуть впливати кілька джерел шумового забруднення. Все це ускладнює і подовжує процес розрахунку, що значно збільшує фінансові й трудові витрати.

Крім того, точкові значення рівнів шуму не дозволяють повною мірою відобразити структуру акустичного поля, що спостерігається в реальності. Тим більше, що вони не відображають динаміку його змін у часі. Необхідним

рішенням є створення ефективної просторової моделі. Для її практичного застосування необхідні засоби просторової прив'язки даних до місцевості. Очевидно, що найбільш придатною платформою реалізації моделі розповсюдження звукової хвилі від джерел шумового забруднення можуть служити ГІС-технології.

ГІС забезпечують більшу наочність вихідних даних у порівнянні зі звичайними географічними картами, дозволяють вирішувати такі аналітичні завдання, що використовують просторову інформацію.

- Проводити аналіз місцевості, що включає визначення зон чутності джерел шуму й оптимального місця розташування об'єктів. Межі чутності при створенні цифрового класифікатора району моніторингу можуть задаватися для якого-небудь об'єкта з урахуванням його перебування на реальній місцевості (наприклад, житлова або промислова територія, дорога і т.д.). В умовах завдання знаходження оптимального місця розташування об'єкта задаються критерії, можливе просторове розподілення шуму, існуюча транспортна мережа, додаткові просторові обмеження.

- Безпосередньо проводити моніторинг шуму, що включає збір і обробку різноманітної інформації про шумові забруднення і т.п.

- Аналізувати функціонування шумових об'єктів. Практично кожен об'єкт включає типові елементи, що діють за певним алгоритмом. Навколо об'єкта розташовуються території з житловими масивами, більш-менш розвинутою дорожньою мережею, іншими мережами чи комунікаціями. Кожна зона на території перебування об'єкта моніторингу має свої атрибутивні властивості й ознаки.

У зв'язку з тим, що склад об'єктів моніторингу є типовим, можливо заздалегідь визначити семантики об'єктів моніторингу й потім з урахуванням цих даних зробити розрахунок:

- зон шумового забруднення навколо об'єктів моніторингу з заданою якістю в умовах перешкод на основі умов розповсюдження звуку;

- оптимальних місць розміщення об'єктів по всій розрахунковій території.

Реалізація системи шумового моніторингу з застосуванням ГІС-технологій (Рисунок 2.6), дозволить здійснювати одночасну (в масштабі модельного часу) реалізацію програм моделювання шумового забруднення навколишнього середовища і, що найголовніше, проводити постійну оцінку можливостей моніторингу великих районів.

Оціночний вииграш у часі при автоматизації розрахунків результатів моніторингу при його плануванні може скласти 10-75% від тривалості етапу вимірювань рівнів шумових забруднень.

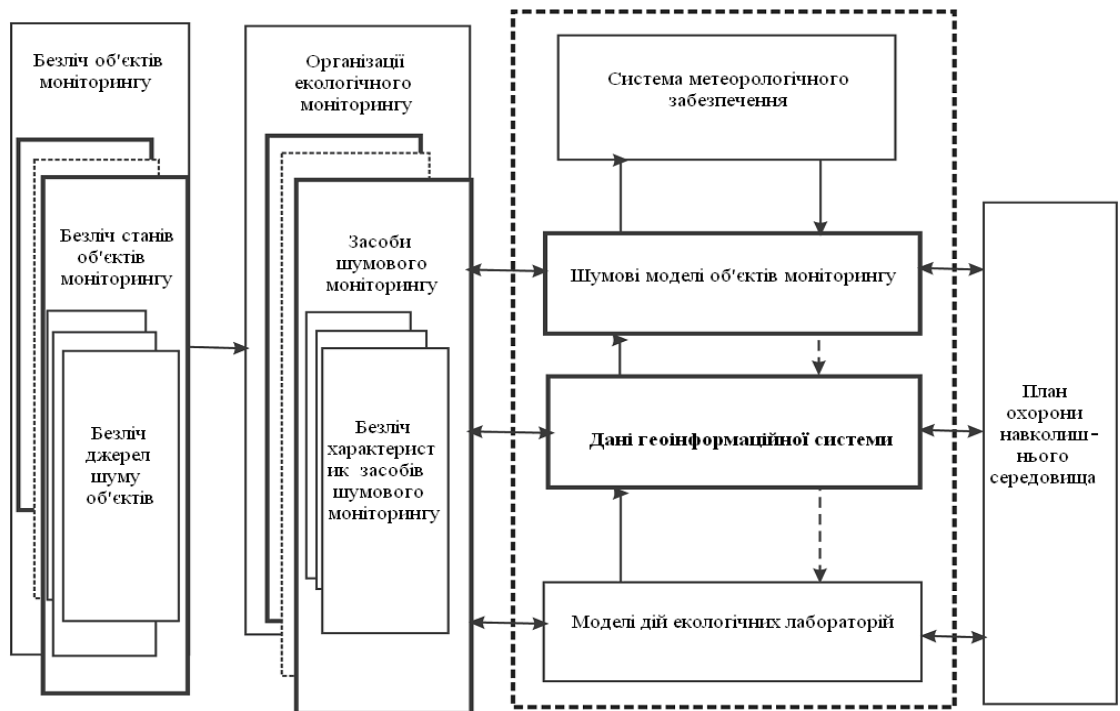


Рисунок 2.6 - Структурна схема функціонування системи шумового моніторингу з застосуванням ГІС-технологій

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

3.1 Огляд існуючих методів вимірювання шуму

Шум, створюваний транспортними засобами на магістральних вулицях і дорогах міст, є одним з основних техногенних чинників шкоди навколишньому середовищу, що здійснює несприятливу дію на населення. Заходи щодо захисту від шуму, через найпоширеніше розповсюдження зон дії даного чинника на території будь-якого сучасного міста, є невід'ємною частиною діяльності з забезпечення комфортних і безпечних умов мешкання його жителів.

Проте для того, щоб боротися з шумом, планувати і здійснювати будь-які шумозахисні заходи, необхідно мати картину його розповсюдження в міській забудові. Таким чином, виникає необхідність у картографуванні шумового режиму.

Карти шуму вулично-дорожньої мережі складаються на поточний період, розрахункові й перспективні терміни повинні входити до складу проектної документації при розробці техніко-економічних основ розвитку міста, генерального плану міста, проектів детального планування його районів і схем санітарно-гігієнічної оцінки існуючого і прогнозованого стану навколишнього середовища. Карти шуму служать основою для оцінки існуючого й прогнозованого шумового режиму на вулицях і дорогах і примагістральних територіях міста, а також для розробки організаційно-адміністративних, архітектурно-планувальних і будівельно-акустичних заходів щодо зниження транспортного шуму. Карти шуму розробляються відповідно до завдання головного архітектора міста й повинні узгоджуватися органами санітарного нагляду й затверджуватися міськвиконкомом. Карти шуму промислових підприємств, селитібною зони й окремих джерел шуму складають у вигляді епюри рівнів звуку по межі підприємства або епюри по лінії забудови об'єкту. Частіше такі карти шуму представляють лініями, що сполучають точки з однаковими рівнями звуку, вираженими в дБА. Якщо джерела шуму на досліджуваному об'єкті або промисловому підприємстві

некогерентні по потужності і в часі (що має місце в загальному випадку), то карти шуму будуються для різних поєднань характеристик роботи цих джерел.

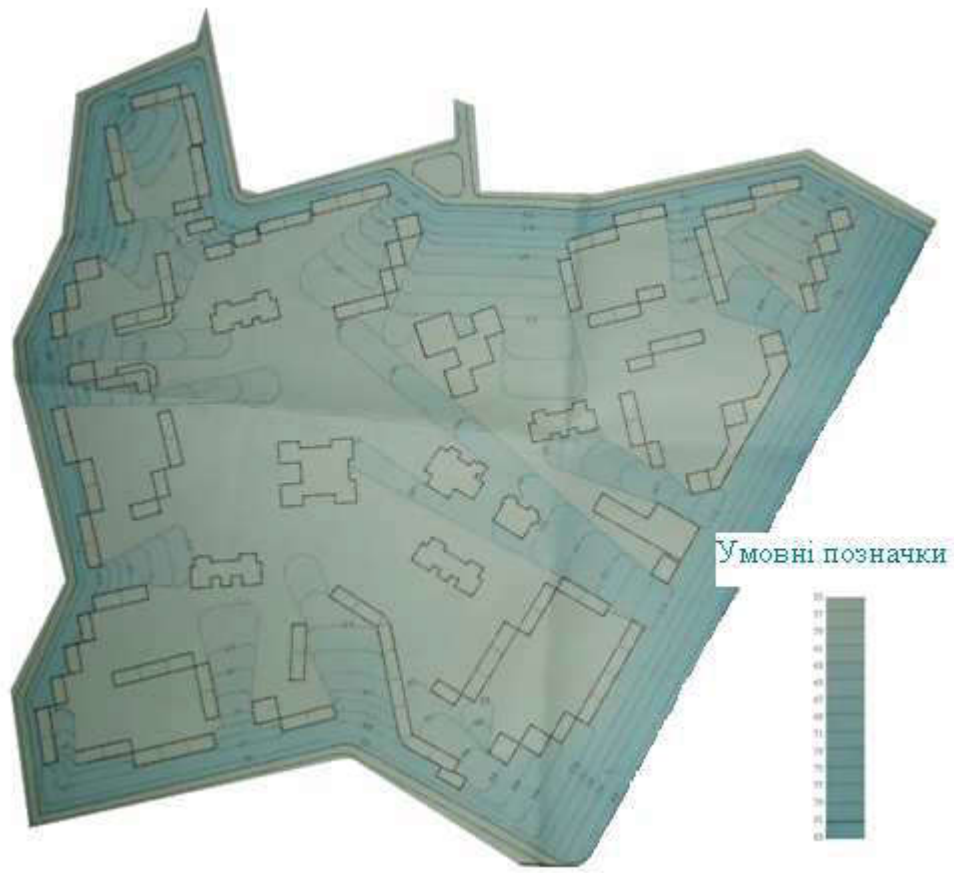


Рисунок 3.1 - Приклад карти шуму для одного з мікрорайонів

Слід помітити також, що в сучасних містах одним з основних і найістотніших джерел шуму є транспорт, той, що рухається по вулицях. Отже, в першу чергу, карти шуму повинні бути прив'язані до транспортних магістралей.

Слід враховувати, що під поняттям «транспортні магістралі», (окрім автомобільних), можуть матися на увазі також траси авіаційних польотів над селітбною зоною міста (літаки - найпотужніше джерело аеродинамічного шуму). Також, але в набагато меншому ступені, на формування карт шуму впливають промислові зони міста.

Побудування вище згаданої «карти шуму» Для побудови карти шуму в просторі необхідно у вибраній системі визначити координати всіх джерел шуму й розрахункових точок, а також об'єктів, здатних зробити вплив на характер

розповсюдження звукових хвиль. Рівень звуку джерела визначається натурними вимірюваннями, паспортними або довідковими даними.

Для дослідження формування й розповсюдження транспортного шуму все більше визнання одержують методи фізичного, аналогового й математичного моделювання. Під моделлю в цьому випадку розуміється така система, що представляється або матеріально реалізована. Вона, відображає або відтворює об'єкт дослідження, і здатна заміщати його так, що її вивчення дає нову інформацію про цей об'єкт.

Фізичне моделювання застосовують для визначення зниження шуму при його розповсюдженні від джерела шуму (яке імітує транспортний потік) в складній композиції перешкод (міська забудова) і в умовах, коли традиційні методи розрахунку мало придатні. Розповсюдження шуму в цьому випадку вивчають не в натурі, а на моделі меншого масштабу на акустичних полігонах.

Математичне моделювання з використанням натурних досліджень зміни рівнів звуку автомобілів у різних дорожніх умовах, характеру розповсюдження шуму від одиночних автомобілів, одержаних на основі натурних вимірювань або на фізичних моделях, положень теорії транспортних потоків, дозволяє досліджувати характеристики транспортного шуму і його розповсюдження в реальних дорожніх умовах.

Карту шуму на стадії генерального плану рекомендується складати на копії основного креслення генерального плану міста. Там повинні бути нанесені наступні дані: трасування вулично-дорожньої мережі, транспортні вузли,

характеристика руху й складу транспортних потоків (інтенсивність руху в обох напрямках, частка числа вантажних і громадських транспортних засобів у загальному числі транспортних засобів у потоці, середня швидкість руху) на

кожній ділянці вулиць і доріг в часи пік середніх діб тижня літнього періоду року, значення подовжніх ухилів проїжджої частини на кожній ділянці вулиць і доріг, межі функціональних зон, районів і територій міста. Характеристики руху й складу транспортних потоків слід визначати за

картографами автомобільних потоків, а значення подовжніх ухилів проїжджої частини вулиць і доріг на підставі плану червоних ліній.

Таким чином, треба будувати карти шуму на базі розрахунків транспортних потоків. Кінцевим висновком такого підходу, як правило, є не еквівалентність прогнозованих результатів з реальними. Проте, цей шлях побудови карт шуму має цілий ряд недоліків. Одержати аналітичне рішення формування характеристик транспортного шуму у вигляді єдиного рівняння для всіх характеристик транспортного потоку й дорожніх умов не вдається. Спрощення завдання приводить до неприпустимо грубих результатів. Від аналітичного дослідження кількісних характеристик формування транспортного шуму доводиться відмовлятися і переходити до інших способів використання математичної моделі.

При побудові імітаційної моделі формування транспортного шуму модель повинна бути якомога гнучкішою, і без значних додаткових змін добре описувати будь-які дорожні умови (продовження дороги в плані й подовжньому профілі, зміна типу дорожнього покриття і характеру розповсюдження шуму), Також вона повинна відповідати основним закономірностям руху транспортних потоків (розподіл автомобілів по смугам руху), функції розподілу інтервалів і швидкості руху автомобілів.

Потік автомобілів і комплекс умов, у яких він рухається, є типовим прикладом складної системи, що характеризується: наявністю великого числа взаємозв'язаних і взаємодіючих між собою елементів; складністю функції,

виконуваної системою; можливістю розбиття системи на підсистеми; наявністю управління; наявністю взаємодії із зовнішнім середовищем і функціонуванням в умовах дії випадкових чинників.

Типовим методом дослідження складних систем є їх моделювання на ЕОМ з використанням імітаційних моделей. Ця робота не є виключенням: у ній пропонується принципово нова методика прогнозування шумового режиму, заснована на обліку просторової форми створюваних хвильових фронтів. Роль моделювання повинна зводитися до розширення, доповнення, інтерполяції даних натурного експерименту.

Свого часу було запропоновано методику моделювання процесів розповсюдження шуму, засновану на обчисленні співвідношення площ хвильових фронтів від одного й того ж джерела, обчислених на різній відстані від нього. Показано (Рисунок 3.2), що при визначених умовах формули видозмінюються в звичні залежності спаду звукової енергії залежно від відстані: формулу квадратичної залежності спаду інтенсивності від точкового джерела (6 дБ при подвоєнні відстані) й спад інтенсивності пропорційно відстані від лінійного джерела (3 дБ при подвоєнні відстані). Для того, щоб охарактеризувати хвильовий фронт, потрібно пригадати, що це – безліч точок поверхні, що знаходяться в один і той же момент часу в однакових фазах. Одне вимірювання в одній контрольній точці «змальовує» всього одну з вищезазначеної «безлічі точок поверхні...»; щоб вимальовувати весь фронт у всій його тривимірній об'ємно-просторовій структурі, необхідно зробити вимірювання в кожній з точок даної «множини...». Це принципово неможливо, бо вимагає $10n$ ступеня контрольних точок, де n – саме по собі астрономічне число, але це і не потрібно: бо, якщо можна охарактеризувати хвильовий фронт за декількома контрольними точками, що знаходяться на його поверхні (заданими без посередніх натурних вимірювань), а інші добудувати шляхом математичного моделювання - ось вона і є в цьому вся математична модель.

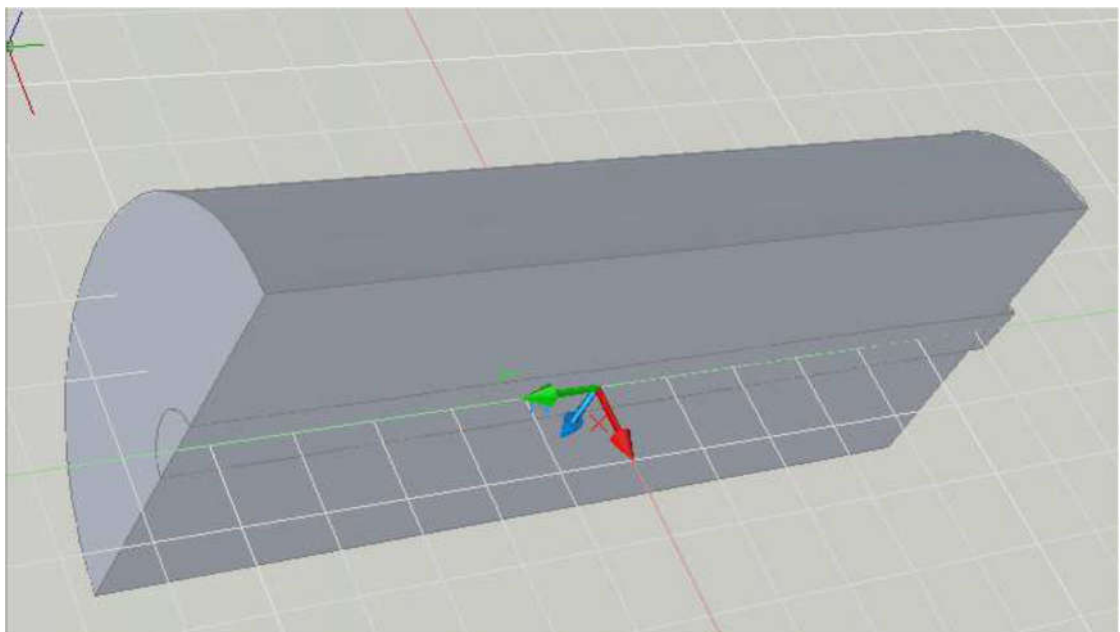


Рисунок 3.2 - Хвильові фронти від лінійного джерела

Запропонована тут методика математичного моделювання розглядається як доповнення до результатів натурних досліджень. Побудувавши такі фронти й обчисливши співвідношення площ даних фронтів можна визначити шуканий рівень звуку на будь-якій відстані від джерела.

Широке розповсюдження в містобудівному проектуванні в усьому світі протягом багатьох останніх років для оцінки шумового режиму територій мають карти шуму на площині. Проте такі карти недостатньо точно визначають межі зон акустичного дискомфорту, що мають двовимірне вимірювання. Просторові карти шуму дозволяють визначити не тільки зони, але й області шумової дії будь-яких джерел, як окремих, так і цілих груп. Отже, використання просторових карт значно підвищує точність розрахунків при аналізі шумової обстановки навколо джерел.

Просторові карти шуму можуть бути сукупністю ліній однакових рівнів звуку (причому не тільки вимірних, але й нормативних) для об'єктів у оточенні джерела шуму в декількох площинах, паралельних поверхні землі (подібно картографічному зображенню рельєфу поверхні). Відстань між площинами може бути обрано залежно від бажаного ступеня точності вирішуваної задачі. Відмітка висоти може бути вказана в розриві такої лінії.

Запропонована модель акустичних процесів, що базується на уявленнях про форму й площу хвильових фронтів, якраз і є такою тривимірною, просторовою моделлю. Погляд на фігуру в сітці осей координат може бути здійснений

з будь-якого напрямку.

Для побудови карти шуму в просторі необхідно у вибраній системі визначити координати всіх джерел шуму й розрахункових точок, а також об'єктів, здатних зробити вплив на характер розповсюдження звукових хвиль.

Частково ці дослідження можна розглядати, як спосіб перевірки на практиці справедливості тієї або іншої математичної моделі процесів розповсюдження шуму на території міста. Виходячи з назви самої роботи, основний упор був зроблений саме на натурні вимірювання шумового режиму

нагірного району міста Тернопіль. Тому перейдемо до методики проведення акустичних вимірювань.

3.2 Оптимізація об'єктів дослідження

Як вже не раз говорилося, місцем нашого дослідження стала ділянка території, розташована в Нагорному районі міста Тернопіль, в самій центральній його частині. Тут нами проводилися натурні виміри шуму, моделювання, їх зіставлення й доповнення, та картографування шумового режиму.

Картографічною підосною наших досліджень послужив план місцевості в цифровому вигляді, введений в ліцензійне програмне забезпечення ArcGIS. Вихідні дані за для моніторингу шумового забруднення в комп'ютерному вигляді були розподілені за так званими "тематичним шарам": створені шари "Будівлі"; "Вулиці"; "Квартали" із таблицями атрибутів для них.

Після первісної камеральної підготовки й планування експерименту приступили до натурних вимірів.

Кількість виміряних значень шуму складає 1200, з яких вечірні - 450, та денні - 750 вимірів.

Перші ж виміри показали значний внесок шумового забруднення від потягу в загальний шумовий фон міста.

Тому було вирішено розподілити одержані значення на дві групи: 1 - шум від потягу; 2- автомобільний шум. Фізичний сенс такого розподілу полягає в тому, що спектри шуму від рейкового й автомобільного транспорту суттєво відрізняються один від одного.

З даних вимірів наочно випливає, що потяги вносять найбільший внесок в шумове забруднення на перехрестях вул.Б.Хмельницького , вул.Руська, вул. С Бандери та ін.

Рисунок 3.7 надає уяву про розподіл спектрів шуму за контрольними точками на території вулиці.

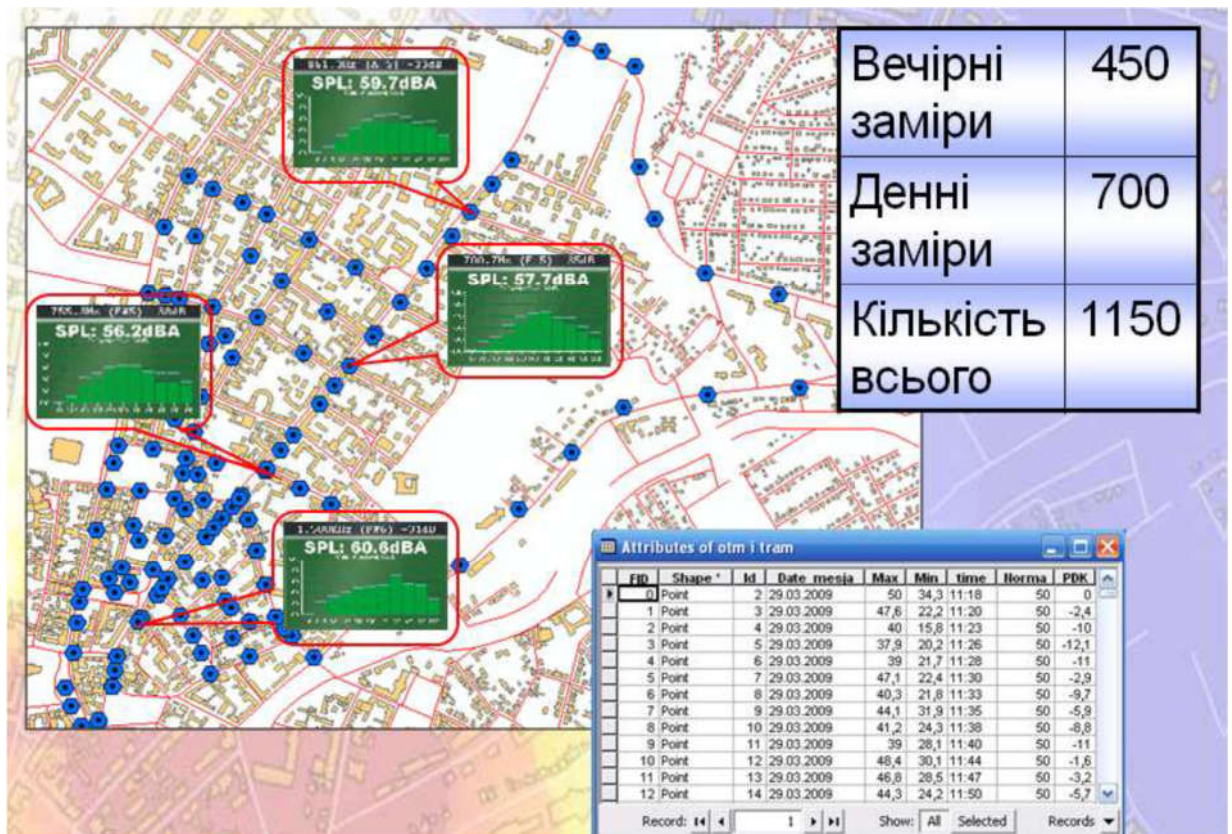


Рисунок 3.6 - Тематичний шар “Заміри”

Фактичні рівні фонового шуму коливаються в межах 43-56 дБА, тому слід зробити висновок про те, що навіть повне закриття автотранспортного руху по вулиці не завжди надає ефект зниження шуму до вимог діючих санітарних норм.

Також на Рисунок 3.7 наочно видимий спад інтенсивності звукової енергії залежно від відстані (три ряди вимірюваних спектрів у нижній частині Рисунок 3.7, розташовані один під одним).

Для аналізу даних та вирішення різноманітних просторових задач був використаний вбудований модуль ArcGIS Spatial Analyst, який включає в себе три метода інтерполяції поверхонь: Кригінг, Сплайн та IDW.



Рисунок 3.7 - фоновий шум вулиці Руської без внеску основних Джерел

Функції поверхонь використовують для надання растрових наборів даних у вигляді поверхні висот, концентрацій, або визначеної величини (в даному випадку - шумового забруднення).

Аналізуючи всі вище перелічені методи побудови об'ємних поверхонь, можна зробити висновок, що найбільш зручним для тематичного шару "Заміри" є метод Кригінг, а саме Ординарний Кригінг, що базується на положенні про те, що постійне середнє значення невідоме.



Рисунок 3.7 - Те ж, що й попередній Рисунок (фонівий шум вулиці Руські без внеску основних джерел)

Застосування цього методу має більше сенсу ніж інші, тому що він обробляє дані не за напрямками, а за площею. Задля виконання завдання моделювання шумового забруднення від потягу були побудовані дві поверхні методом IDW. Вони побудовані для шару "Заміри" як з врахуванням внеску шуму потягів, так і без них.

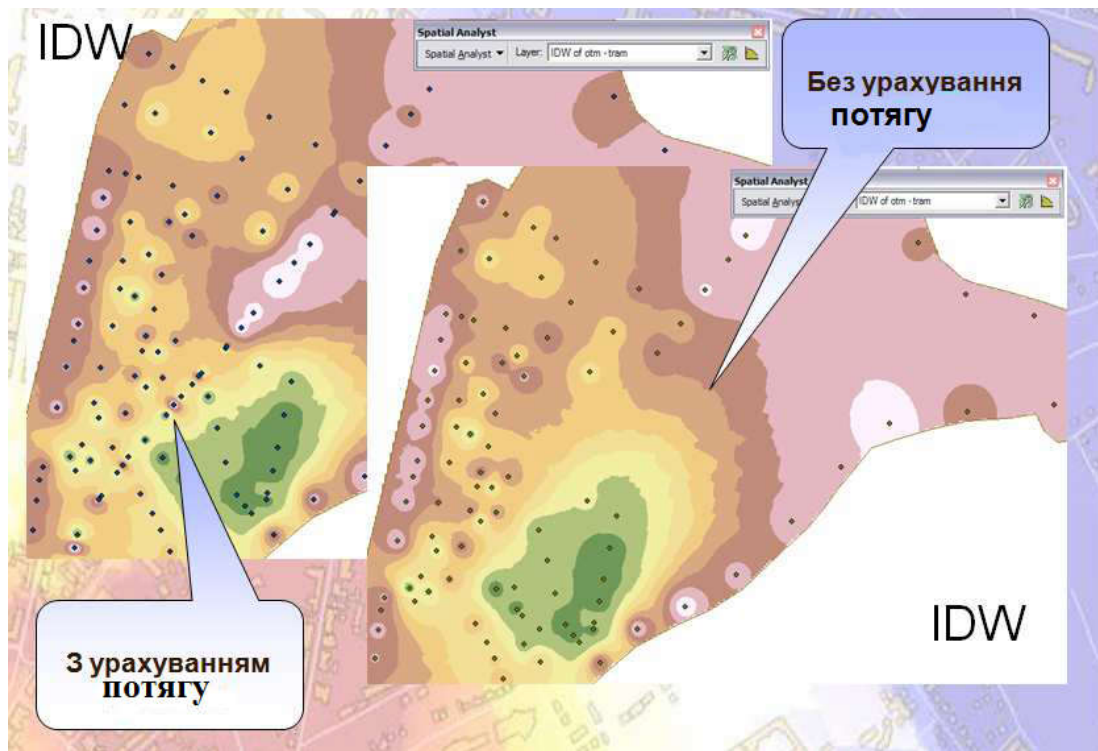


Рисунок 3.8 - Побудова поверхні методом IDW

Зони акустичного дискомфорту були виявлені та візуалізовані на карті шуму; вони позначені білим кольором. Також адекватним чином було вивчено сучасне становище.

Задля подальшого аналізу шумового забруднення центру міста методом IDW було побудовано внутрішньо-квартальне зображення шумового забруднення. На ньому рожевим кольором були відзначені шумові зони, де норми порушені, а зеленим кольором - зони акустичного комфорту. Зона акустичного комфорту існує, вона має практично сталу межу території. Такими зонами, наприклад, є місце розташування БАМ, вул. Потебні та ін. Слід відзначити, що порівняння інтерполяційних методів показало сталу зону акустичного комфорту на міській території, яку ми умовно назвали "тихий центр". Він знаходиться всередині кварталів вул. Революції, Бажанова, Потебні, Чубаря, Демченко.

Також на підставі плоских двумірних даних методом IDW у рамках шару "Квартали" було побудовано поверхню внутриквартального шуму. Основним показником при її побудові послужило відхилення від нормативного рівня звуку.

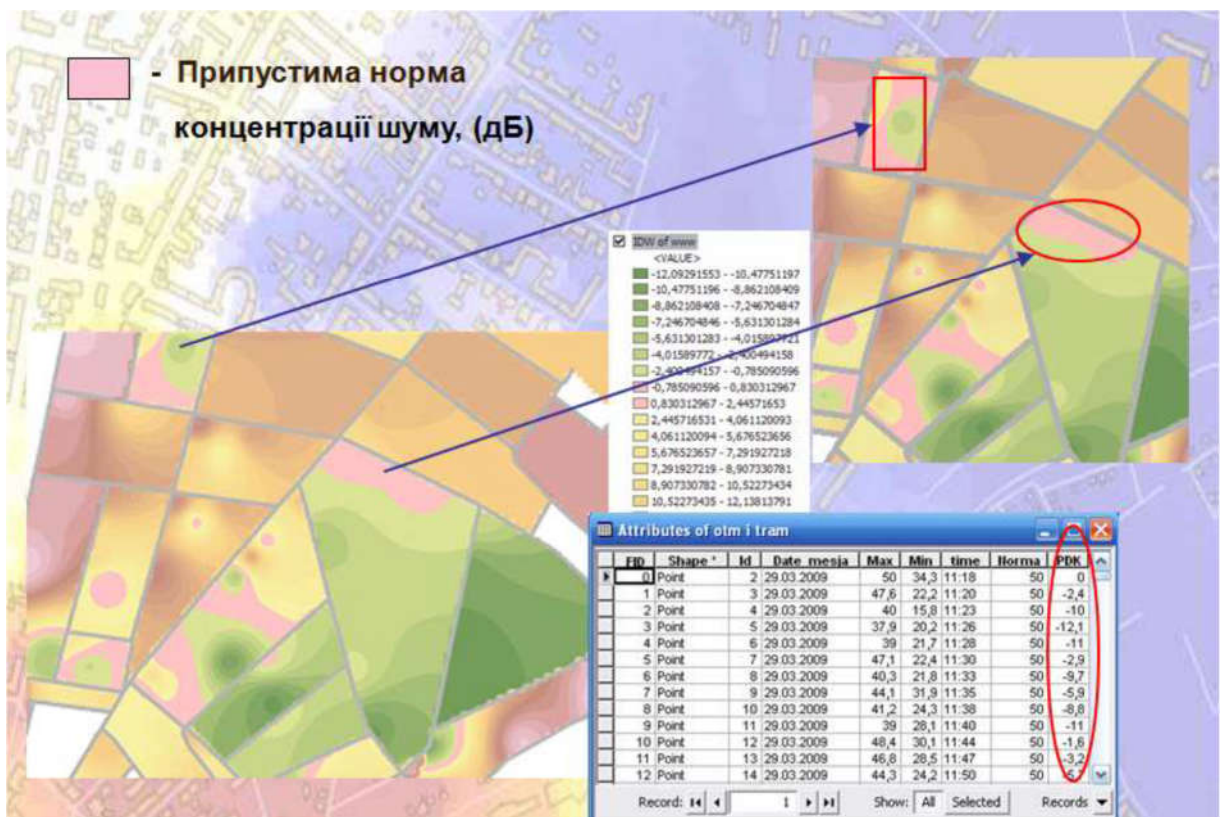


Рисунок 3.10 – Так званий «тихий центр» Тернополя

Рожевим кольором позначені зони, що відповідають нормативним значенням, а зеленим кольором показані найбільш сприятливі зони шумового комфорту. Цими зонами є район Східний і прилегла до нього територія, що обмежена вулицями Бандери та протасевича, а також внутрішньоквартальна територія, обмежена вул. Лесі Українки та Слівенська.

Проектування було багатоваріантним; розглядувалися, розраховувалися й будувалися різноманітні можливі варіанти побудови карти шуму.

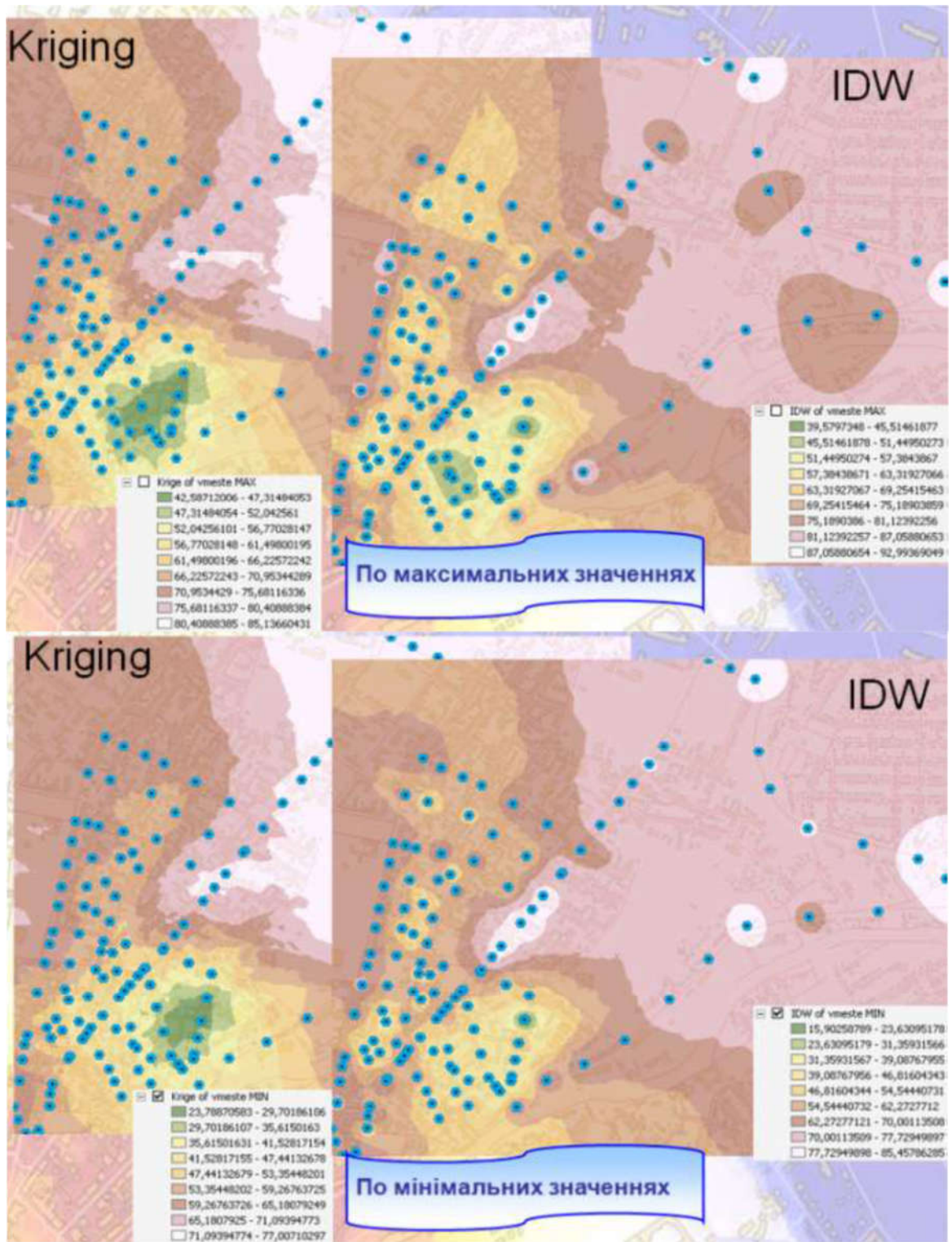


Рисунок 3.11 - Порівняння методів IDW і Kriging на прикладі шару “Заміри”

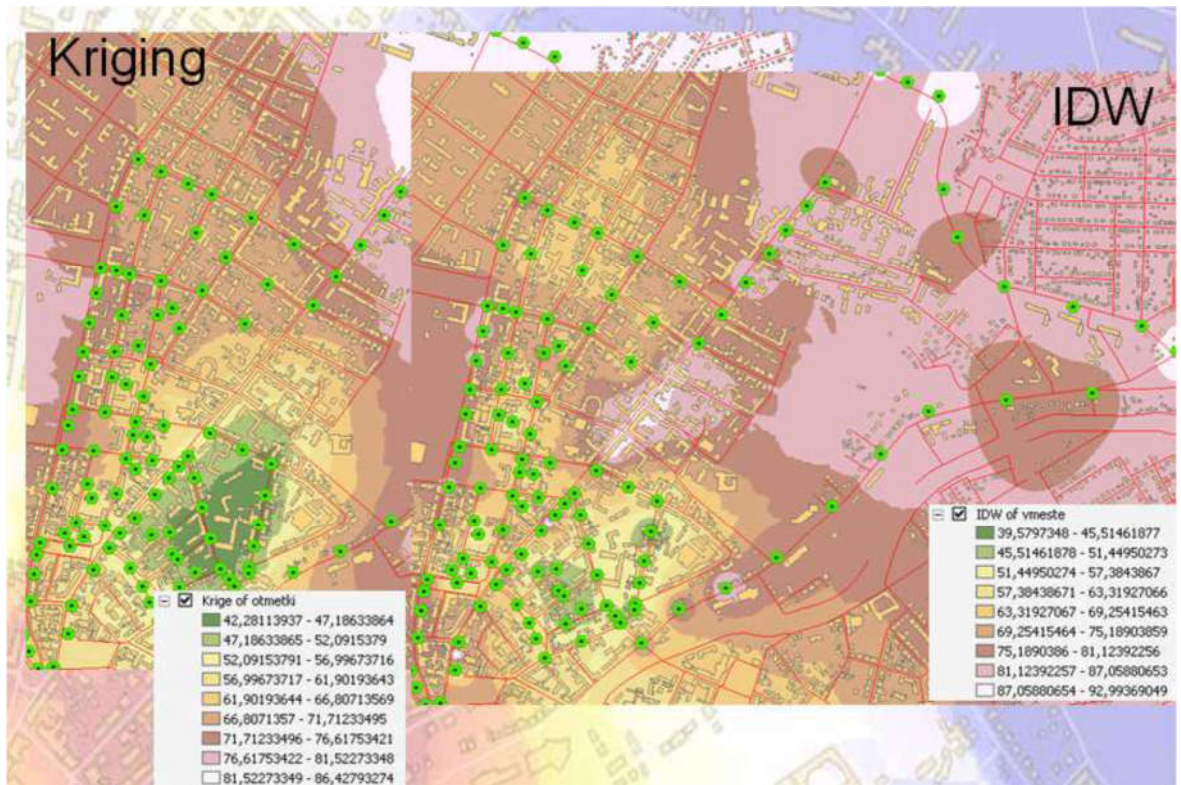


Рисунок 3.12 Порівняння методів IDW і Kriging на прикладі растру “Відмітки”

ВИСНОВКИ

1. За сучасних умов боротьба з шумом є технічно складною, комплексною, дорогою. Важливо знижувати шум у джерелі його виникнення, створювати безшумні або мал шумні машини і технологічні процеси, транспортне і промислове устаткування, починаючи ще зі стадії проектування.

2. Соціальний характер проблеми забруднення середовища шумом визначає те, що боротьба з ним - завдання не тільки технічне, а й і суспільне. У проблемі взаємодії людського суспільства і природи важливе місце посідає свідомо й активна боротьба з шумовим забрудненням довкілля .

3. До вказаних заходів відносяться покращення конструкції дороги і їх трасування, регулювання транспортних потоків, застосування екранів і бар'єрів, перегляд загальних концепцій землекористування поблизу основних транспортних магістралей. Додатковою мірою, яка застосована до всіх видів транспорту є поліпшення проектування і звукоізолюючих характеристик будівель для зменшення шуму всередині них.

Список використаних джерел

1. Березький О.М. Методичні рекомендації до виконання магістерської роботи з освітнього ступеня “Магістр”. Спеціальність: 123 - Комп’ютерна інженерія. Магістерська програма - Комп’ютерна інженерія" / О.М. Березький, Л.О. Дубчак, Г.М. Мельник /Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2018. 41 с.
2. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів, звітів про проходження практики, випускних кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Комп’ютерна інженерія» / І.В. Гураль, Л.О. Дубчак / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 33 с.
3. Шкрібляк Ю.М., Янч В.С. Модель та засоби програмно-апаратної системи контролю шумового забруднення «розумного» міста // Науково–практична конференція молодих вчених і студентів «інтелектуальні комп’ютерні системи та мережі» Частина 1. 14 листопада 2019 р., с. 12
4. Шкрібляк Ю.М. Створення карти шуму міста // Науково–практична конференція молодих вчених і студентів «інтелектуальні комп’ютерні системи та мережі» Частина 2. 15 квітня 2019 р., с. 14
5. Конституція України: Прийнята на п’ятій сесії Верховної Ради України 28 черв. 1996 р. – К.: Преса України, 1997. – 80 с.
6. Закон України "Про охорону праці". К., 2002.
7. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення".
8. ГОСТ 12.0.003-74*. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
9. Охорона праці в Україні. Нормативна база. (3-є вид., змін. і доп.) / Роїна О.М. - К.: КНТ, 2007. - 548 с.
10. Вся база «Законодавство України» URL: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>.
11. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду URL: <http://www.dnopr.kiev.ua/>.

12. Державні нормативні акти з охорони праці. URL: <http://dnop.com.ua>.
13. Реєстр ДНАОП. (Повний перелік всіх діючих законодавчих та нормативних документів в галузі охорони праці станом на сьогоднішню дату в електронному вигляді. Щоденно оновлюється). URL: <http://www.document.org.ua/dnaop/>.
14. НАУ - Нормативні акти України. (Добірка всіх діючих нормативних актів в Internet) URL: <http://www.nau.kiev.ua/index.php>.
15. «Зодчий». Законы, постановления, указы, соглашения, документы министерств и ведомств (ЗАК URL: <http://aist.com.ua/products/zodchiy/base/zak/>).
16. ДСТУ 2325-93. Шум. Терміни та визначення.
17. ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумонавантаження . Загальні вимоги.
18. ГОСТ 12.1.003-83*.ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
19. ГОСТ 12.1.029-80 (СТ СЭВ 1928-79) ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
20. ГОСТ 12.1.036-81. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях.
21. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. К. - 1999. - 32 с.
22. СНиП II -12-77.Защита от шума. Нормы проектирования.
23. Производственный шум. / С. В.Алексеев, М. А. Хаймович, Е. Н. Кадыскина, Г. А. Суворов., 1991.
24. Шумові вібрації та їх вплив на організм URL:
25. chemtest.com.ua/ua/shumovie_vibracii_i_ih_vozdeistvie_na_organizm.
26. Руководство по разработке карт шума улично- дорожной сети городов. М.: НИИСФ Госстроя СССР, 1980
27. Географічні інформаційні системи URL: <http://www.geoguide.com.ua/survey/survey.php?part=gis>.

28. Основи акустичної екології: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів / Дідковський В.С., Запорожець О.І., Акименко В.Я., Токарев В.І. – Кіровоград: ТОВ "Імекс ЛТД", 2002.
29. Набір програм для геопросторової обробки карт URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/>.
30. О.М. Березький. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Магістр”. Спеціальність: 123 - Комп’ютерна інженерія. Магістерська програма - Комп’ютерна інженерія" / О.М. Березький, Л.О. Дубчак, Г.М. Мельник. – Тернопіль: ТНЕУ, 2019.
31. 26 Схема Тернополя URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BD:%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F.
32. 27 Вулиці Тернополя URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%B8%D1%86%D1%96_%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F.
33. Красовський В.М. КУРСОВА РОБОТА “Акустика та захист від шуму” [Електронний ресурс] / Красовський В.М.. – 2006. – <https://studfile.net/preview/5725830/>.
34. Засоби захисту від шуму і вібрації URL: <https://www.sop.com.ua/article/1071-zasobi-zahistu-vd-shumu-vbrats>.
35. Шум та його шкідливі наслідки URL: <http://uz.dsp.gov.ua/index.php/diialnist/hihiiena-pratsi/749-shum-ta-ioho-shkidlyvi-naslidky>.
36. Карта шуму праги URL: <https://visacz.com/uk/real-estate/karta-pragis-rajonami/>.
37. Відкрита мапа світу URL: <https://www.openstreetmap.org>
38. Санітарні норми допустимого шуму в приміщеннях жилих і громадських будівель та на території житлової забудови URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v7_84400-84.
39. Стаття на ain.ua URL : <https://ain.ua/2018/11/23/lun-karta-shumov/>.

40. Карта шуму компанії ЛУН URL: <https://flatfy.lun.ua>
41. Моделирование шумообразования от от транспортных и промышленных объектов для обеспечения безопасного пребывания людей в городской среде / С. В. Нестеренко, Д. В. Рачек, Н. А. Ткач, А. В. Яковенко // Мат. Междунар. науч.-практ. конф. «Архитектура, градостроительство, историкокультурная и экологическая среда городов центральной России, Украины и Беларуси» : (Брянск, 12–13 марта 2014 г.) / Брянская гос. инж.-технолог. акад. – Брянск, 2014. – С. 337–341.
42. K. Paunovic,. Burden of myocardial infarction attributable to road-traffic noise: a pilot study in Belgrade / K. Paunovic,, G. Belojevic..
43. Проблемы шума в городах и человек. Карта шума: URL: <http://globalproblems.narod.ru/problemahuma13.html>
44. Абракітов В. Е. Моделювання процесів випромінювання та розповсюдження транспортного шуму [Текст] / В. Е. Абракітов, О. Ю. Нікітченко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - 2012. - Вып. 59. - С. 163-167.
45. Гільов В. В. Визначення коефіцієнту акустичного комфорту (дискомфорту) для територій з садибною забудовою / В. В. Гільов, М. Ю. Трошин, Н. В. Калініченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. трудов. — Днепропетровск : ПГАСА, 2007.
46. Гільов В. В. Аналіз шумового режиму від автотранспорту / В. В. Гільов, К. Ю. Мкртічян, Т. П. Ігнатенко // Екологічний інтелект — 2011 : зб. наук. праць за матеріалами VI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, 19—20 травня 2011 р
47. Гилёв В. В. Оценка качества городской среды по уровню шумового загрязнения территории / В. В. Гилёв, В. Н. Макарова
48. Гилёв В. В. Шумовое загрязнение и загазованность, как факторы влияющие на качество жизнедеятельности населения / В.В. Гилёв, В. Н. Макарова, В. В. Палиенко

49. Абракитов В.Э. Аналоговое моделирование процессов распространения звука на территории города / В. Э. Абракитов, С. В. Нестеренко

50. Дія шуму і вібрації на організм людини: URL.: https://sites.google.com/a/chnu.edu.ua/b_skip/-2/elearning/noise

ДОДАТОК А

КАРТА ШУМУ МІСТА БРНО

