

Міністерство освіти та науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля

Кафедра екології та екологічної безпеки

Ілюстративні матеріали доповіді магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:

**“НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ  
ТРАНСПОРТНОГО ШУМУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ ТА  
ШУМОЗАХИСНИХ ЗАХОДІВ”**

*Робота виконана за сприяння департаменту архітектури та містобудування  
Вінницької міської ради*

Розробив: студент групи ТЗД-17м

Щербань Олександр Ігорович

Керівник: к.т.н., старший викладач Трач І.А.

В останні десятиріччя міський шум зростає в середньому на 0,5 – 1 дБА в рік, а гучність шуму на кожні 10 років підвищується приблизно в два рази. Практика вбудованих у житлові будівлі підприємств побутового обслуговування і громадського харчування та оснащення будинків інженерним, сантехнічним і технологічним обладнанням приводить до підвищення у приміщеннях будівель рівнів шуму. Оптимізація містобудівельних рішень, захист житлових будівель і селітебних територій від шуму вимагають розробки ефективних захисних засобів.

Основні джерела шуму у місті – автотранспорт, рейковий і повітряний транспорт, промислові об'єкти (індустріальний шум) тощо.

Найбільші рівні шуму від автотранспорту мають місце на міських магістральних вулицях, де середня інтенсивність руху досягає 2000 – 3000 транспортних одиниць за годину і більше, а шумова характеристика транспортного потоку коливається у діапазоні 80 – 90 дБА (максимальні рівні шуму можуть досягати 95 дБА).

Рівень вуличних шумів визначається інтенсивністю, швидкістю руху, складом транспортного потоку, архітектурно-планувальним рішенням (профіль вулиці, щільність забудови, стан покриття дороги, наявність зелених насаджень). Кожний із цих факторів здатний змінити рівень транспортного шуму до 10 дБА.

У промисловому місті звичайно високий процент вантажного транспорту на магістралях. Збільшення у загальному потоці автотранспорту вантажних автомобілів, особливо великовантажних з дизельними двигунами, приводить до зростання рівнів шуму. У цілому вантажні і легкові автомобілі створюють на території міста шумовий режим.

Шум, виникаючий на проїжджій частині магістралі, поширюється не тільки на при магістральну територію, а і в глибину житлової забудови, яка потребує шумозахисту.

**Метою роботи є розробка науково-обґрунтованих будівельно-акустичних засобів для зменшення негативного екологічного впливу транспортного шуму на організм людини.**

**Об'єктом дослідження є процес екологічного моніторингу та контролю транспортного шуму на території житлової забудови.**

**Предмет дослідження - акустичні характеристики транспортного шуму.**

**Галузь застосування – охорона навколишнього природного середовища України і населення від негативного фізичного впливу транспортного шуму.**

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

1. Дослідження характеристик антропогенного і транспортного шуму.

2. Аналіз методів і засобів визначення і розрахунку акустичних характеристик транспортного шуму.

3. Аналіз методів захисту від транспортного шуму.

4. Розробка природоохоронних заходів і рекомендацій для зменшення негативного впливу транспортного шуму.

5. Економічна оцінка реалізації будівельно-акустичних засобів захисту від транспортного шуму.

## Поняття шуму та його класифікація

Шум – одна з форм фізичного забруднення навколишнього середовища. Тривала дія на слух людини інтенсивного шуму (понад 80 дБА) може призвести до його часткової втрати. Залежно від тривалості й інтенсивності дії шуму відбувається більше чи менше зниження чутливості органів слуху.

Дія шуму на організм людини не обмежується тільки дією на органи слуху. Подразнення шумом передається в центральну й вегетативну нервову систему, а через неї впливає на внутрішні органи, призводячи до різних змін в їхньому функціональному стані. Шум впливає також на психічний стан людини, спричинюючи почуття неспокою й роздратування.

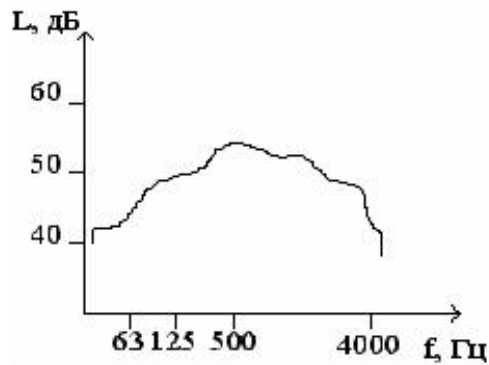
### За часовими характеристиками шуми поділяється:

Постійні шуми;

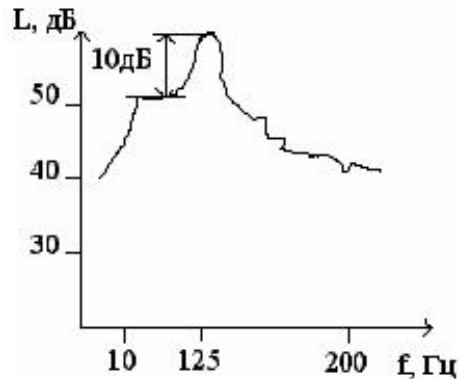
Непостійні шуми;

- 1) Імпульсні;
- 2) Перервні шуми;
- 3) Коливальні в часі.

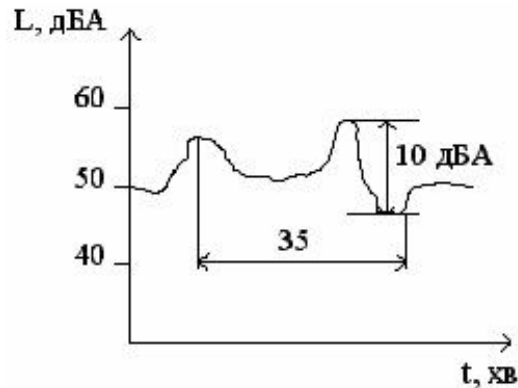
# Спектральна характеристика промислового і транспортного шуму



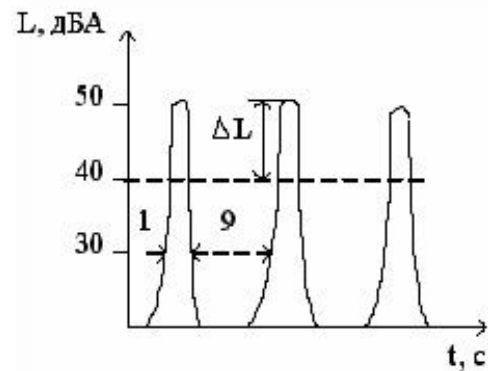
Безперервний спектр



Тональний



Шум, що коливається в часі



Імпульсний спектр

# Прилади для вимірювання шуму

Звук і шум близькі один до одного, тому що мають загальні параметри та характеристики, до яких належать:

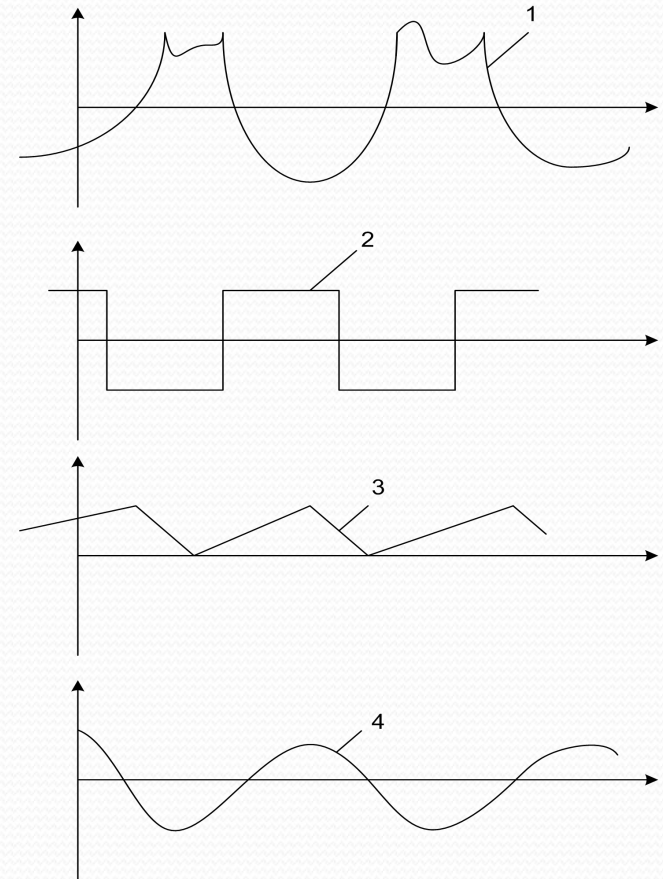
- звуковий тиск;
- коливальна швидкість частинок повітря;
- інтенсивність звуку;
- щільність звукової енергії;
- звукова потужність.

Мікрофони:

- 1) конденсаторний мікрофон;
- 2) п'єзоелектричний мікрофон;
- 3) електродинамічний мікрофон;

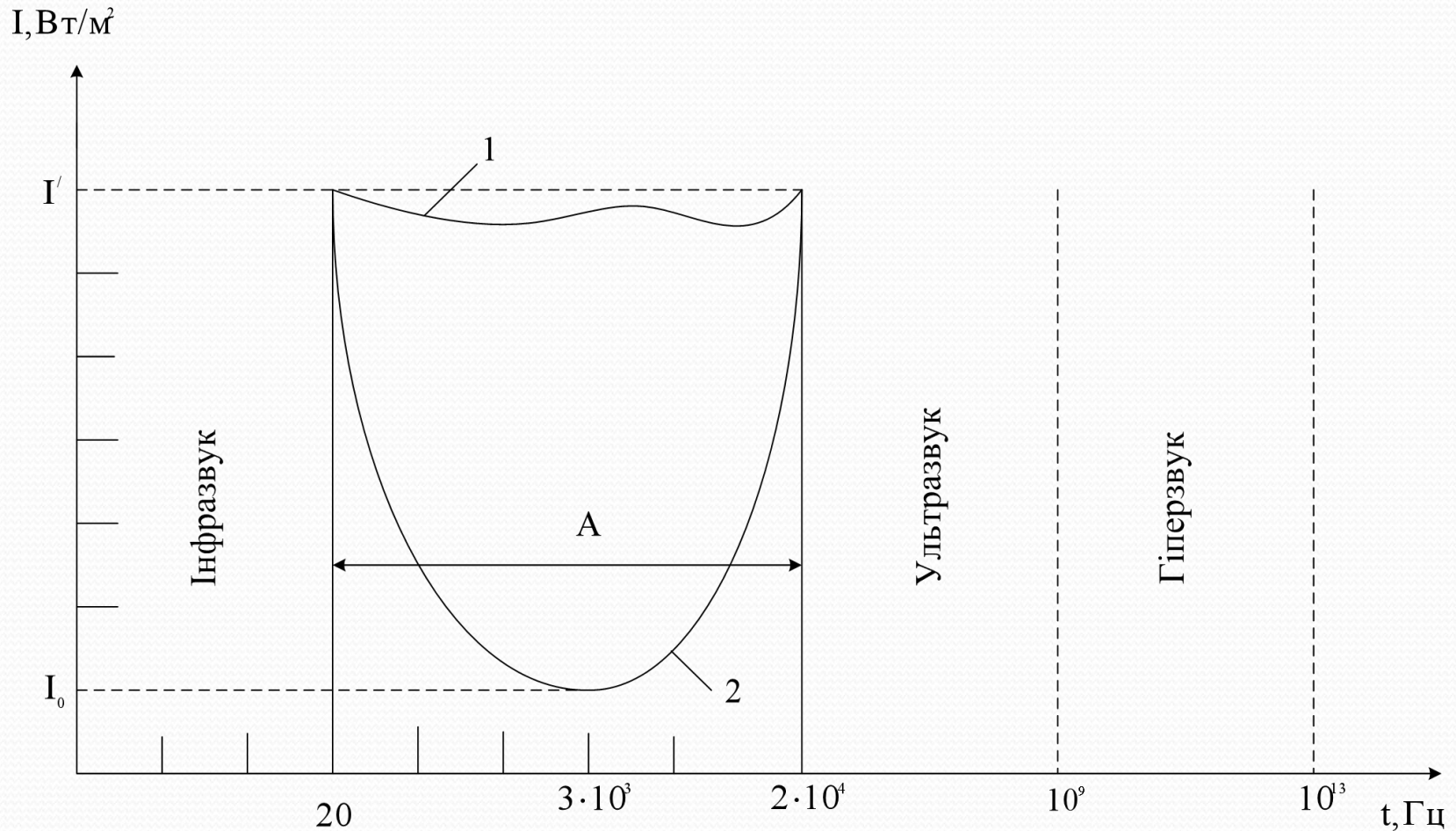
Шумомір:

- 1) ревербераційна камера;
- 2) звуковимірювальна камера.



Різні види коливань: 1 – періодичні, вільної форми;  
2 – прямокутні; 3 – пилоподібні; 4 – синусоїдальні.

# Спектральна чутливість органів слуху ЛЮДИНИ



1 – поріг болювого відчуття; 2 – поріг чутливості; А – чутливий діапазон;  $I'$  – 1  $\text{Вт/м}^2$  болювий поріг. В діапазоні частот 1 – 4 кГц людське вухо володіє найбільшою чутливістю (сила звуку  $\text{Вт/м}^2$ ), а болюве відчуття виникає при силі звуку більше 1  $\text{Вт/м}^2$  (крива 1).



Звукова енергія, що випромінюється працюючим обладнанням сприймається органом слуху людини, який є одним з основних елементів сприйняття в центральній нервовій системі. Цей елемент нервової системи забезпечує аналіз коливальних процесів і захист від надмірних впливів. Орган слуху складається з трьох частин: звукоуловлювальної – зовнішнє вухо, звукотрансмісійної – середнє вухо, звукосприймальної – внутрішнє вухо.

Звукові коливання сприймаються зовнішнім вухом і через слуховий прохід передаються барабанній перетинці, коливання якої впливає на внутрішню частину органа слуху – волоскові клітини уздовж мембрани. Останні пов'язані з черепно-мозковими нервами.

Такий механізм передачі звукових коливань як система має ряд особливостей, що впливають на сприйняття та наслідки дії шуму.

Кожен елемент системи має власні частоти коливань і граничні значення сприйняття звукових коливань по нижньому (межа чутливості) і верхньому значенню (поріг відчуття болю). За даними медичних досліджень встановлено, що слуховий прохід є резонатором із власною частотою 3000 Гц, барабанна перетинка має власну частоту коливань 2000 – 2400 Гц, частота власних коливань середнього вуха – близько 1500 Гц. Тому в діапазоні частот, що сприймається слуховим органом людини від 16 Гц до 20000 Гц, найбільша чутливість проявляється на частотах від 1500 до 4000 Гц. При впливі виробничого шуму на слуховий орган відбувається певне регулювання збудження і пристосування організму до навколишнього середовища. Цей процес називається адаптацією і протікає поза нашою свідомості. Спочатку чутливість зростає, а потім через 15–20 хвилин знижується. Після дії шуму високого рівня виникає стомлення органа слуху, а потім при тривалому впливі настає втрата чутливості, тому що відновлювальний процес закінчується на проміжному етапі. Орган слуху втрачає колишню чутливість, виникає професійне захворювання приглухуватості і глухоти, що виявляється через кілька років роботи.

Для забезпечення профілактики професійного захворювання та умов праці щодо шумового фактора існує «Методика аудиометричного контролю стану органів слуху» за міжнародними стандартами ІСО – 389-75.

Цією методикою оцінки впливу виробничого шуму передбачається контроль зниження граничної чутливості за двома діапазонами частот: перший – від 500 до 2000 Гц і другий – на частоті 4000 Гц.

Втрати слуху оцінюються за **трьома ступенями**:

- **перший (легке зниження)**, втрати слуху на першому діапазоні – 10-20 дБ і другому –  $60 \pm 20$  дБ;
- **другий (помірне зниження)**, на першому діапазоні – 21-3 дБ, на другому –  $65 \pm 20$  дБ;
- **третій (значне зниження слуху)**, на першому діапазоні – 31 дБ і більше на другому –  $78 \pm 20$  дБ.

Проведення аудиометричного контролю й обстежень дозволяють виявити початкові форми захворювань і вжити заходів щодо їх профілактики. Крім органів слуху, підвищений шум **підвищує центральну нервову систему, що спричинює порушення зору і частий головний біль, роботу серцево-судинної системи і шлунково-кишкового тракту**. А це може привести до гіпертонії і виразкової хвороби.

Частий і тривалий вплив шуму високої інтенсивності є причиною порушень в роботі організму людини.

Тривала дія на слух людини інтенсивного шуму (понад 80 дБА) може призвести до його часткової втрати. Залежно від тривалості й інтенсивності дії шуму відбувається більше чи менше зниження чутливості органів слуху. Воно виражається в тимчасовому зменшенні порога чутливості, що зникає після припинення впливу шуму, а при великій тривалості чи інтенсивності шуму – в необоротній втраті слуху, яка характеризується постійним підвищенням порога чутливості. Ефект впливу шуму залежить від його тривалості. Так, після 6 – 8 років роботи людини в умовах підвищеного шуму настає приглухуватість (стійке зниження її слуху). Критерієм ризику розладу слуху вважають рівень шуму 90 дБА при тривалому щоденному впливі його протягом 10 років.

Дія шуму на організм людини не обмежується тільки дією на органи слуху. Подразнення шумом передається в центральну й вегетативну нервову систему, а через неї впливає на внутрішні органи, призводячи до різних змін в їхньому функціональному стані. Шум впливає також на **психічний стан людини, спричинюючи почуття неспокою й роздратування**.

# Біологічна дія шуму на організм людини (продовження)

Вплив шуму на вегетативну нервову систему виявляється навіть при невеликих і помірних рівнях звука (40 – 70 дБА). Зокрема, найбільш вираженим є порушення периферичного кровообігу внаслідок звуження капілярів шкіри й слизових оболонок, а також підвищення артеріального тиску, особливо при рівнях звука, вище за 85 дБА. Якщо для вегетативної нервової системи характерна чітка залежність між впливом шуму та реакцією на нього, то з боку психіки такої залежності немає. Встановлено, що виражені психічні реакції з'являються вже починаючи з рівнів звука 30 дБА. При цьому вирішальним у психічній оцінці неприємності шуму є особисте відношення людини до цього шуму. Негативна дія шуму на психіку людини зростає з підвищенням його частоти й рівня, а також із зменшенням ширини смуги частот шуму.

Дія цього шуму на центральну нервову систему спричинює підвищення латентного періоду зорово-моторної реакції, призводить до порушення рухомості нервових процесів, зміни електроенцефалографічних показників, порушення біоелектричної активності головного мозку, спричинює біохімічні зміни в структурах великого мозку.

Імпульсні й нерегулярні шуми справляють більш виражений вплив. При цьому зміни у функціональному стані центральної й вегетативної нервової системи настають набагато раніше і при менших рівнях шуму, ніж зниження слуху.

Одним з найпоширеніших професійних захворювань є так звана **шумова хвороба**, яка характеризується комплексом симптомів. До об'єктивних симптомів шумової хвороби належать: **зниження слуху; зміна травлення, що виражається в зниженні кислотності; серцево-судинна недостатність; нейроендокринні розлади. У людей, що працюють в умовах тривалої дії шуму, виявляються також різні суб'єктивні симптоми: роздратування; головний біль; запаморочення; зниження пам'яті; підвищена втомлюваність; зниження апетиту; біль у вухах.**

Все це може спричинити негативні зміни в емоційному стані людини, навіть призвести до стресу. Під дією шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється втомленість унаслідок підвищених енергетичних витрат і нервово-психічного напруження, погіршується мовна комутація. Все зазначене знижує працездатність людини, продуктивність, якість і безпеку її праці. Встановлено, що при роботах, які потребують підвищеної уваги, при збільшенні рівня звука від 70 до 90 дБА продуктивність праці знижується на 20% і більше.

На підставі концепції дії шуму на організм висунуто гіпотезу про те, що шуми середніх рівнів (нижче 80 дБА), які, як правило, не призводять до постійної втрати слуху, проте справляють втомлювальну, несприятливу дію, котра додається до аналогічного впливу від важкості й напруженості праці. Запропоновано постулювати тотожність і синергічність ефекту впливу шуму як однієї з компонент робочого середовища і власне трудового навантаження на організм людини. Слід зазначити, що вплив шуму певною мірою залежить від характеру джерела шуму. Так, шум, що створює сама людина, менше турбує її, ніж більш слабкий подразний шум іншого джерела.

Ступінь шкідливості слабого шуму залежить від того, наскільки він перевищує звичний шум (фонове значення). Навколишній шум діє на людину також і уві сні; особливо він шкідливий при пробудженні людини від різних звуків.

Нормативними параметрами постійного шуму є рівні звукового тиску в октавних полосах із середньо геометричними частотами 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 і 8000 Гц, а непостійного по часу – еквівалентні рівні звуку  $L_{екв}$ . Величина еквівалентного рівня звуку розраховується на основі результатів заміру рівнів звуку за найбільш шумних 30 хв. При цьому рівні звуку безперервно записуються на стрічці самописного приладу або зчитуються з показань шумоміра приблизно через 5 с. Шум, який утворюється транспортними засобами у житлових та громадських будинках і їх території не повинен перевищувати гранично допустимих спектрів, приведених у нормативних документах. Так, на території, яка безпосередньо прилягає до житлових будинків (2м від огорожувальних конструкцій), майданчиків відпочинку мікрорайонів, дитсадків, шкіл, рівні звукового тиску в октавних полосах частот не повинні перевищувати значень, які наведені в таблиця 1.

Таблиця 1 – Значення звукового тиску в октавних полосах частот

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	$L_{екв}$ , дБА
Рівні звукового тиску, дБ	67	57	49	44	40	37	35	33	45

Зовнішній шум транспортних засобів при їх русі не повинен перевищувати рівні звуку в залежності від типу автомобілів, автобусів, мотоциклів в середньому 80 – 85 дБА. Санітарні норми шуму регламентуються системою міждержавних стандартів та міжнародних стандартів. Відповідно до ГОСТ 12.1.003 – 83 шум класифікується таким чином.

За характером спектра: широкопasmовий з неперервним спектром завширшки більше ніж одна октава; тональний, у спектрі якого є виражені дискретні тони. Тональний шум характеризується тим, що при вимірюваннях у третьооктавній смузі частот рівень звукового тиску в одній смузі відрізняється від рівнів у сусідніх смугах не менше ніж на 10 дБ.

За часовими характеристиками: постійний, рівень звука якого за восьмигодинний робочий день змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА; непостійний, рівень звука якого за восьмигодинний робочий день змінюється в часі більше ніж на 5 дБА.

Стандарти щодо шуму можна поділити на кілька груп.

**Стандарти першої групи** (ГОСТ 12.1.003 – 83, ГОСТ 12.1.036 – 81, ГОСТ 22283 – 88, ГОСТ 12.1.001 - 89) нормують допустимі рівні шуму в житлових і громадських будівлях, рівні авіаційного шуму та території забудови та ультразвукового шуму на робочих місцях.

**Стандарти другої групи** (ГОСТ 12.4.077 – 79, ГОСТ 23337 - 78) містять методи вимірювань шуму й ультразвука на робочих місцях, у виробничих приміщеннях, житлових і громадських будівлях.

**Стандарти третьої групи** (ГОСТ 12.1.023 – 80, ГОСТ 12.1.024 – 81, ГОСТ 12.1.025 – 81, ГОСТ 12.026 – 80, ГОСТ 12.1.027 – 80, ГОСТ 12.1.028 – 80, ГОСТ 23941 - 79) містять методи визначення шумових характеристик машин (точні та технічні).

У **стандартах четвертої групи** (ГОСТ 16297 – 80, ГОСТ 23426 - 79) наведено методики оцінки ефективності шумозаглушувальних конструкцій і пристроїв. Стандарти п'ятої групи (ГОСТ 12.1.029 – 80, ГОСТ 23499 – 79, ГОСТ 18108 - 80) визначають вимоги до шумозаглушувальних конструкцій, пристроїв і матеріалів.

До характеристики джерел шуму, що нормуються, належать: коректований рівень звукової потужності; рівень звукової потужності в смугах частот; рівень звука в контрольних точках; рівень звукового тиску в смугах частот у контрольних точках; максимальний показник напрявленості випромінювання шуму в октавних смугах частот; максимальний показник напрявленості випромінювання шуму в робочому діапазоні частот. Показник напрявленості визначається як різниця між рівнем звукового тиску в даному напрямі та середнім по поверхні вимірювання рівнем звукового тиску.

Зазначені характеристики мають оцінюватися в постійних режимах при: нормальному навантаженні, повному навантаженні, відсутності навантажень, різних операціях технологічного процесу.

Для гігієнічної оцінки шуму в місцях перебування людей як основну нормувальну величину використовують еквівалентний рівень звуку  $L_{екв}$  і рівень звуку в контрольних точках, причому

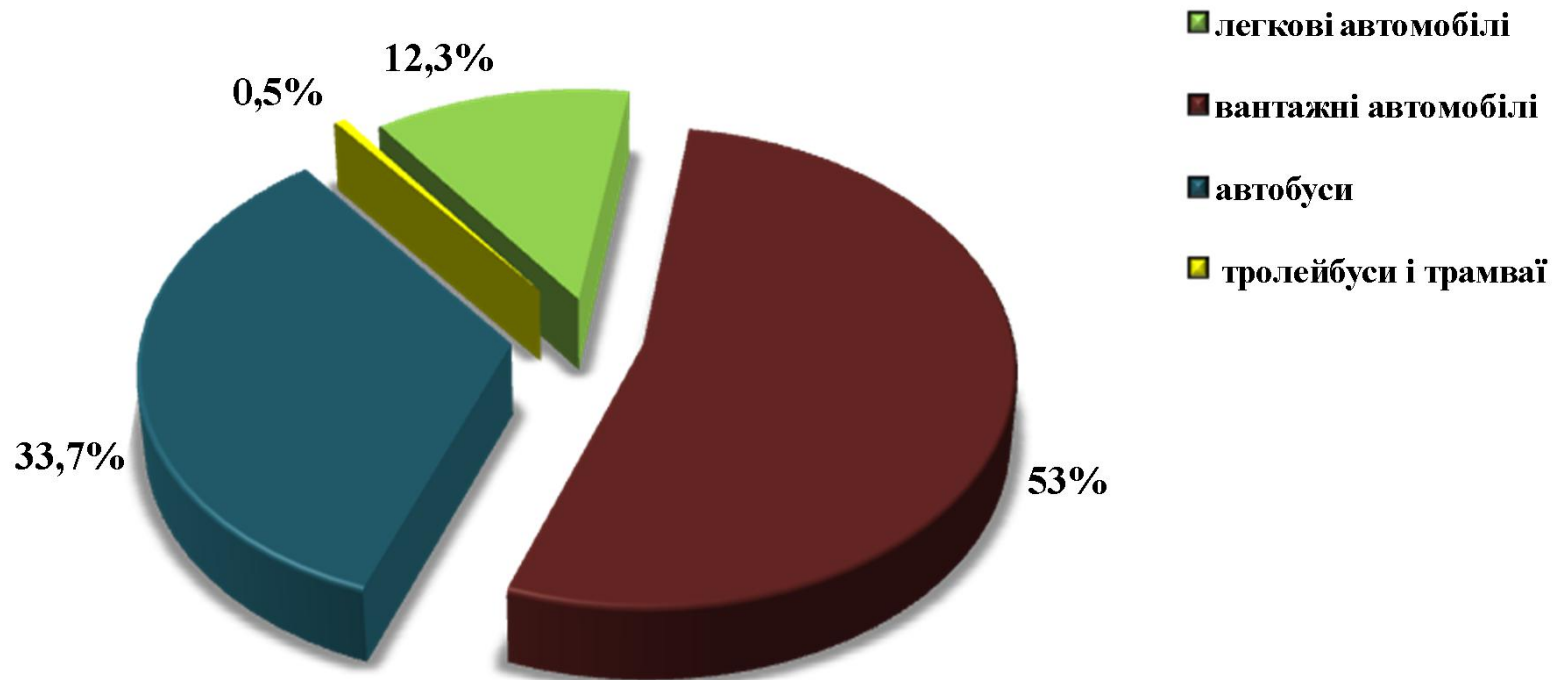
$$L_{екв} = 10 \lg \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right], \quad (1)$$

де  $p_A(t)$  - миттєвий звуковий тиск, коректований за частотною характеристикою А;  $t_1$  і  $t_2$  – величини, що обмежують час впливу шуму.

## Допустимі рівні шуму в різний час доби

Зона дії шуму	Допустимий рівень шуму в різний час доби, дБА			
	8 <sup>00</sup> – 22 <sup>00</sup>		22 <sup>00</sup> – 8 <sup>00</sup>	
	Еквівал.	Максим.	Еквівал.	Максим.
Учбові приміщення	40	55	-	-
Житлові кімнати	40	55	30	45
Номера готелів, гуртожитків, територій лікарень та санаторіїв	45	60	35	50
Зали столових, кафе	55	70	-	-
Зали очікування вокзалів, аеропортів	60	75	-	-
Території, прилеглі до житлових будинків, дитячим садочкам і т.д.	55	70	45	60
Площадки відпочинку житлових будинків, шкіл, інститутів і т.д.	45	60	-	-

## Джерела транспортного шуму



## **Рівень шуму автомобілів та інтенсивність їх складових визначаються:**

- 1) розмірами автомобіля;
- 2) типом двигуна, його потужністю і частотою обертання колінчастого валу;
- 3) режимом роботи двигуна і швидкістю руху автомобіля;
- 4) станом і типом дорожнього покриття;
- 5) взаємодією стрічного потоку повітря з автомобілем;
- 6) загальним пробігом автомобіля з початку експлуатації.

# Шумові характеристики окремих транспортних засобів

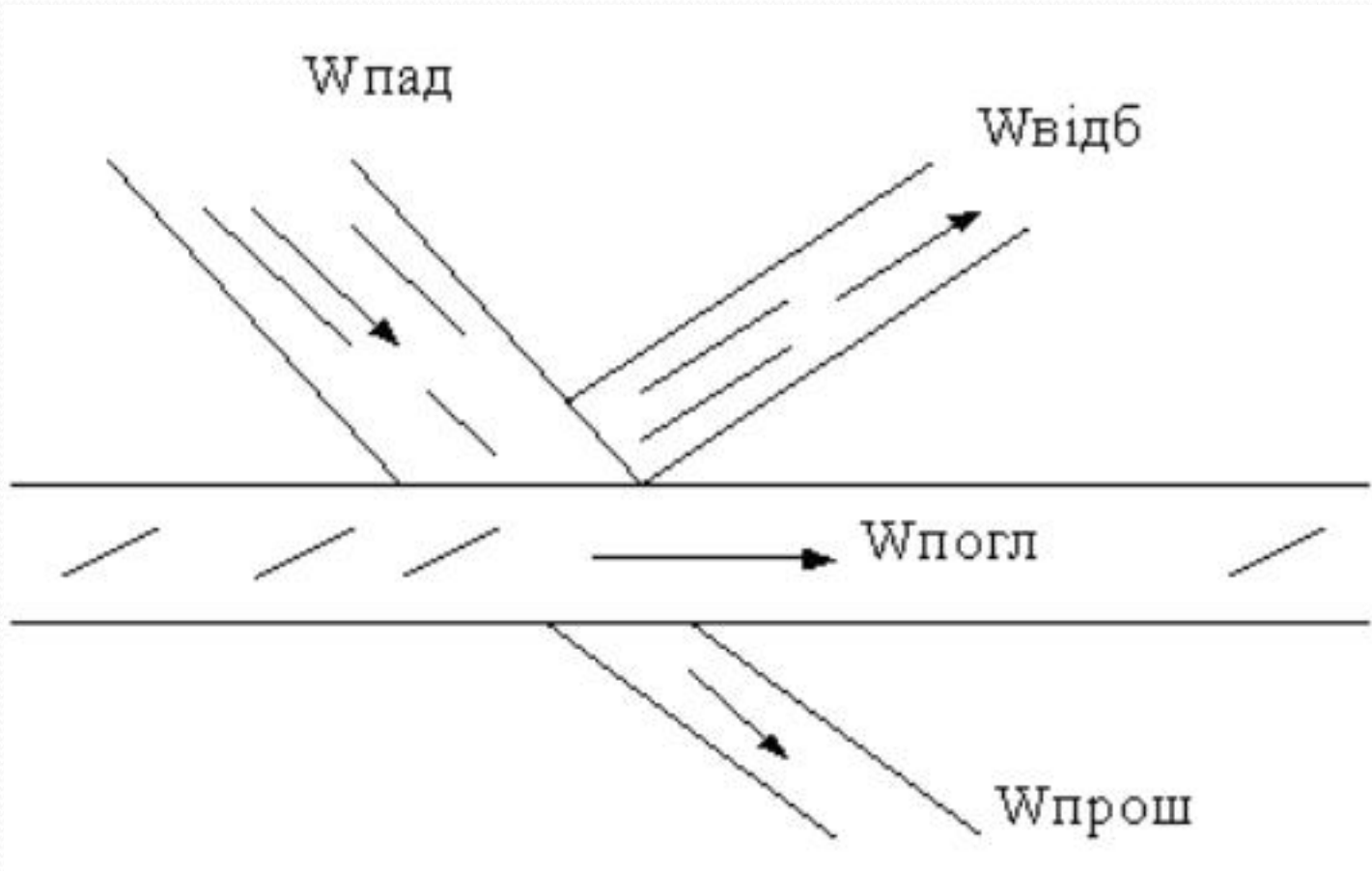
Тип автомобіля	Рівні звуку:	
	максимальний	еквівалентний
Легковий	$L_{A_l} = 58,9 + 10 \cdot \lg\left(\frac{V_l^2}{r^2}\right)$	$L_{A_{екв_l}} = 42,7 + 10 \cdot \lg\left(\frac{V_l^2}{r^2}\right)$
Карбюраторний	$L_{A_k} = 65,0 + 10 \cdot \lg\left(\frac{V_k^2}{r^2}\right)$	$L_{A_{екв_k}} = 42,7 + 10 \cdot \lg\left(\frac{V_k^2}{r^2}\right)$
Дизельний	$L_{A_d} = 68,0 + 10 \cdot \lg\left(\frac{V_d^2}{r^2}\right)$	$L_{A_{екв_d}} = 42,7 + 10 \cdot \lg\left(\frac{V_d^2}{r^2}\right)$

# Схема колективного захисту від шуму

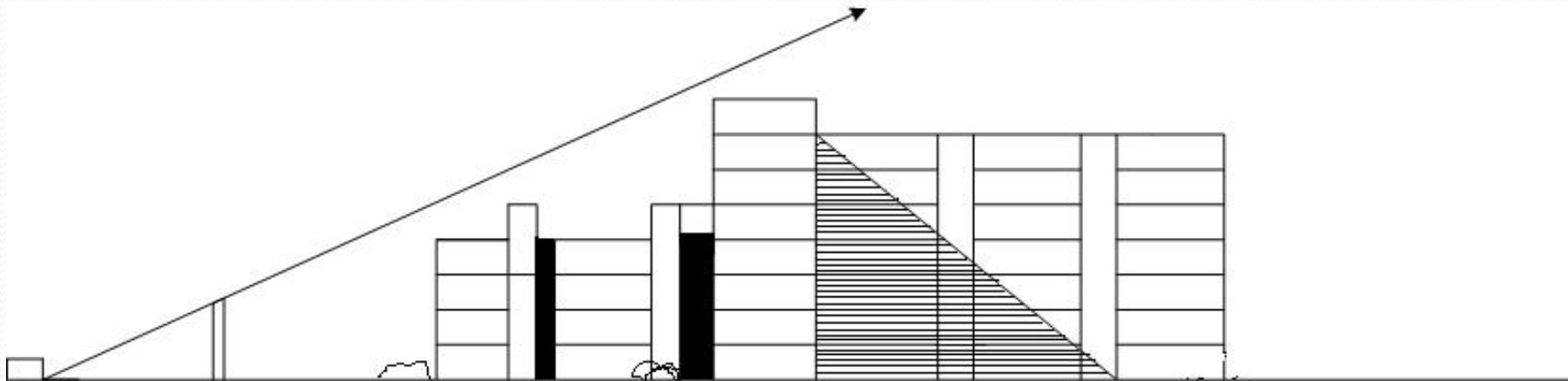




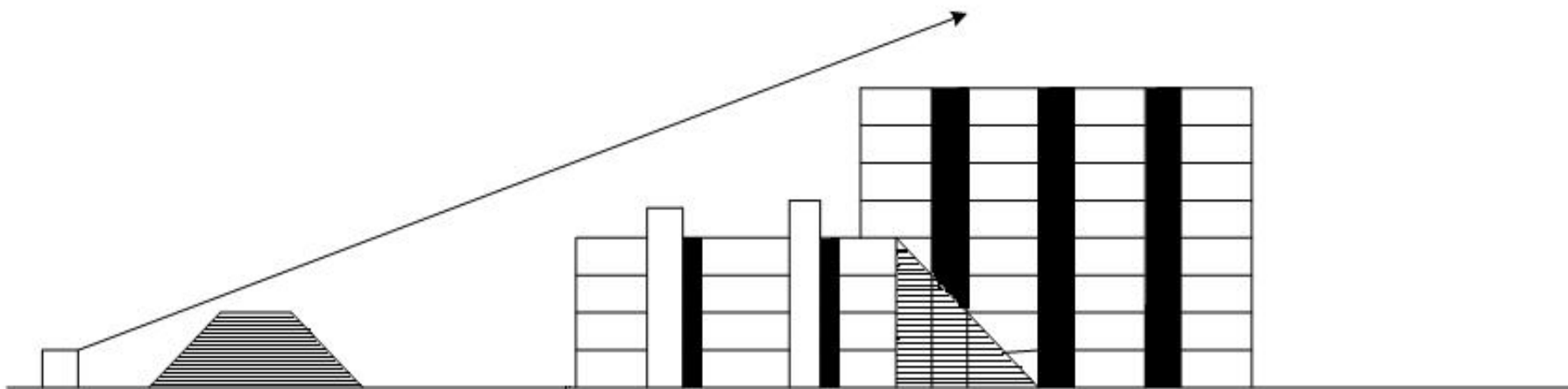
# Схема проходження звукової хвилі через перешкоду



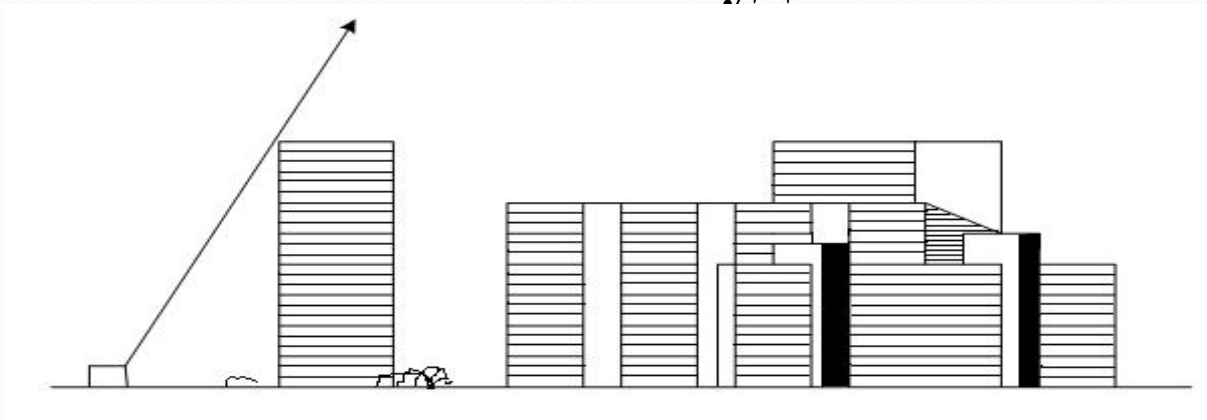
## Екран-стіна



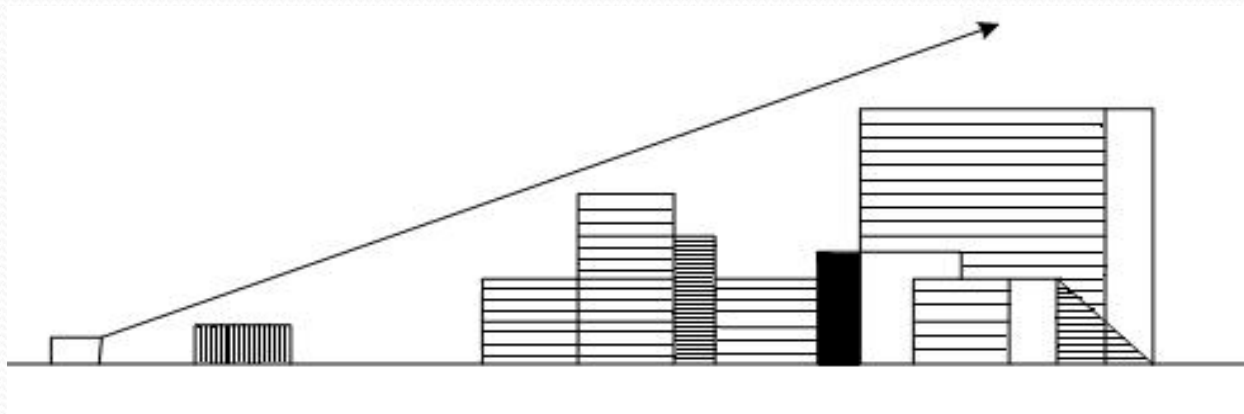
## Екран-насип



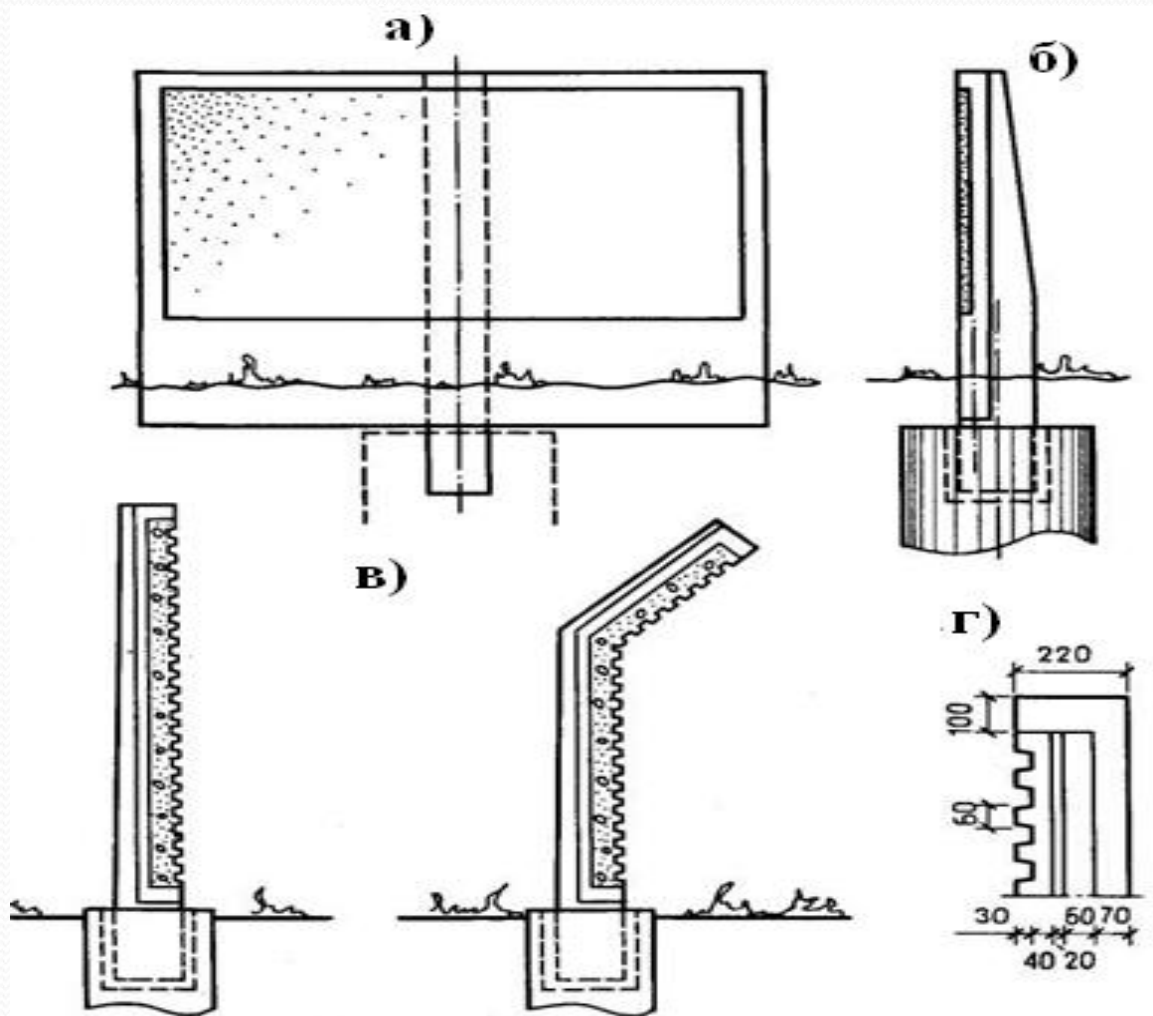
# Екран-шумозахисний житловий будинок



## Екран-будинок нежитлового призначення

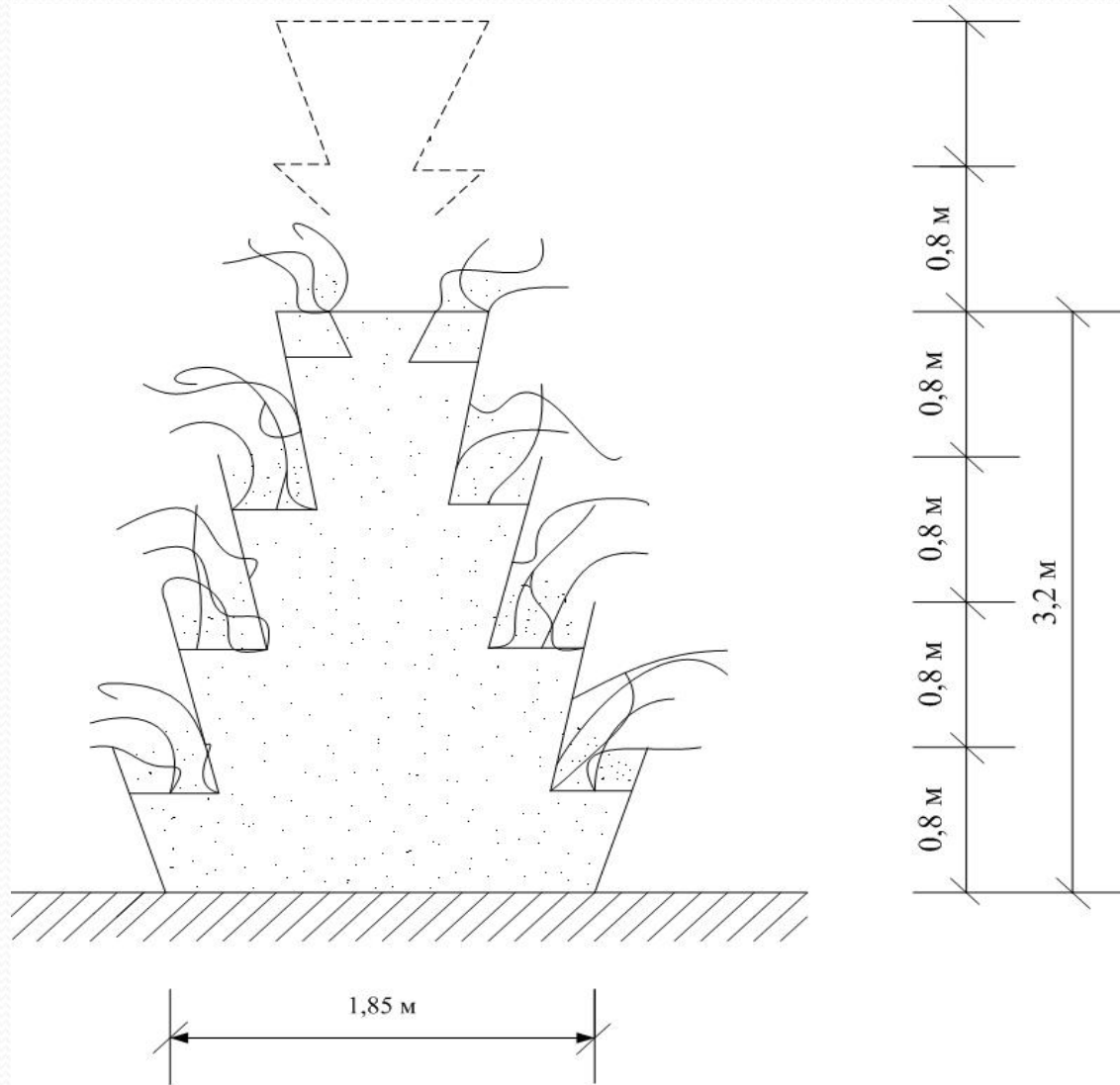


# Види шумозахисних екранів із залізобетону



Екран із залізобетону: а) фасад; б), в), г) розрізи

# Розріз комбінованого шумозахисного екрану



## Зниження рівня звуку екраном

Відстань між екраном та розрахунковою точкою, м	Висота екрана, м	Зниження рівня звуку екраном, дБА
10	2	7
	4	12
	6	16
20	2	7
	4	12
	6	15
50	2	7
	4	11
	6	14
100	2	7
	4	11
	6	13

# Звукоізолююча здатність багатошарових огорож, конструкцій і перегородок

Вид огорож	h, мм	Q, мм	Октавні смуги частот, Гц								
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Два листа залізних по 2мм і 40мм, мінеральна вата	44	36	12	18	21	34	43	39	57	57	57
Два азбоцементних листа по 6мм і 40мм, пінополіуретан	52	32	14	20	25	36	39	39	45	40	40
Цегла 95мм із ДВП 25мм і 40мм, повітрян. проміжок	170	180	25	31	37	45	49	52	58	60	65
Дві гіпсобетонні перегородки 70мм і проміжок 60мм	270	170	19	26	32	40	39	45	53	56	64
Дві бетонні стіни по 77мм із проміжком 50мм	190	340	32	38	44	42	48	54	59	59	59
Склоблок	39	70	32	37	40	42	45	48	50	50	50
Отвір дверей із двох листів фанери й одного проміжного по 6мм і двох шарів скловолокна по 30мм	80	-	9	15	21	25	31	37	39	35	35
Подвійні двері з тамбуром 30см	80	-	22	27	31	33	36	46	49	42	42
Металеві двері 4мм зі скловолокном 40мм	50	-	16	21	28	36	45	51	50	49	45
Подвійні вікна зі склом по 3мм	100	-	16	24	32	33	41	49	52	49	43
	150	-	18	27	36	35	46	49	52	49	44
	200	-	22	28	28	29	49	49	52	49	44

# Загальний вигляд шумозахисних екранів фірми “Максфорсконкрит” (виробник Росія)



а) “ФрендкритНБ+”



б) “ФрендкритНБ”



в) “ТімберкритНБ”



г) “Акустикрит”



Схема зниження шуму від джерела до розрахункового об'єкта може бути показана у вигляді:

$$y_x = y_{7,5} - x_1 - x_2 - x_3 - x_4, \quad (1)$$

де  $y_x$  - рівень шуму на відстані ( $m$ ), що нас цікавить від джерела шуму (дБ);  $y_{7,5}$  - рівень шуму на відстані 7,5 м від осі найближчої смуги руху (дБ);  $x_1$  - зниження рівня звуку (дБ) у залежності від відстані  $r$  між джерелом шуму і точкою, що нас цікавить обчислюється по формулах:

а) для потоків засобів автомобільного, рейкового і водного транспорту  $x_1 = 10 \lg \cdot r / r_0$ ;

б) для джерел шуму на території мікрорайонів  $x_1 = 20 \lg \cdot r / r_0$  ( $r_0 = 7,5$  м);

$x_2$  - зниження рівня шуму за рахунок поглинання звукової хвилі ґрунтом:  $x_2 = K_r x_1$  (дБ), де  $K_r$  - коефіцієнт поглинання звукових хвиль ґрунтом, значення якого приймається: для відкритого ґрунту - 1,0; для асфальту - 0,9; для газону - 1,1;  $x_3$  - зниження рівня шуму при поглинанні звукової хвилі зеленими насадженнями:  $x_3 = K_z x_1$  (дБ), де  $K_z$  - коефіцієнт поглинання звукової хвилі зеленими насадженнями, який приймається: для зеленої смуги із двох рядів дерев - шириною 6 м, середньої густини (з кущами) - 1,2; для тієї ж смуги із зімкнутими кронами висотою не менше 7 м з підліском (чагарником) - 1,5; для однієї смуги дерев з рідкими кущами - 0,9 - 1,0;  $x_4$  - зниження рівня шуму за рахунок екрана (огорожі, суцільної стіни, будинків) - визначається у залежності від значення емпіричного параметру  $W$ , який обчислюється згідно з даними для конкретного об'єкта:

$$W = \frac{1.414h}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{\frac{a+b}{a \cdot b}}, \quad (2)$$

де  $h$  - висота екрана, м (середня величина);  $\lambda$  - довжина звукової хвилі, м (при частоті  $f = 500$  Гц,  $\lambda = 0,68$  м);  $a$  - відстань від джерела шуму до екрана, м;  $b$  - відстань від екрана до досліджуваної точки, м.

Значення  $x_4$  приймається по таблиці 1

Таблиця 1 - Зниження рівня шуму за рахунок екрана

Емпіричний параметр W	Зниження рівня шуму екрануванням $x_4$ , дБ	Емпіричний параметр W	Зниження рівня шуму екрануванням $x_4$ , дБ
1,0	14	3,0	23
1,5	17	3,5	24
2,0	19	4,0 і більше	25
2,5	22		

Значення рівня шуму у розрахунковій точці ( $y_{7,5}$ ) може бути визначено природним вимірюванням (на відстані 7,5 м від осі найближчої смуги руху автомобільного транспорту) шумоміром. Це значення в умовах міських автомагістралей в час „пік” складає приблизно 80 дБ (тобто  $y_{7,5} = 80$  дБ). Цей параметр може бути розрахований по емпіричній формулі:

$$y_{7,5} = 46 + 11.8 \lg \cdot N + x_z \text{ (дБ)}, \quad (3)$$

де  $N$  - інтенсивність руху транспорту, авт/год;  $x_z = \pm x_N \pm x_V \pm x_i \pm x_{TP}$  - сума поправок, яка враховує відхилення фактичних умов від типових;  $x_N$  - поправка на відхилення співвідношення 60 % вантажного і 40 % громадського транспорту у потоці (на кожні 10 % відхилення приймається 1 дБ);  $x_V$  - поправка на відхилення від оптимальної швидкості руху транспорту на міських вулицях (1 дБ на кожні 10 % відхилення);  $x_i$  - поправка на нахил дороги (1 дБ на кожні 2 % відхилення від рівної дороги);  $x_{TP}$  - поправка при наявності трамваїв, тролейбусів (приймається 3 дБ).

## Удосконалений метод розрахунку будівельно-акустичного шумозахисного екрана-стілки

Застосування екранів виправдане в тому випадку, якщо шум екрануючого джерела не менш, ніж на 10 дБ вище рівнів, створюваних іншими джерелами в забудові. Акустична ефективність екрана  $\Delta L_{\text{ЕКР}}$  – це зниження рівнів звукового тиску в РТ (розрахунковій точці), розташованої за екраном, що залежить насамперед від розмірів і форми екрана, відстані від джерела шуму і РТ екрана, частоти звуку й т.д. Екрани можуть бути плоскої або П-подібної форми, гладкими (з металу, пластмаси й т.п.) або (найчастіше) зі звуковбирним облицюванням товщиною не менш 50 мм із боку джерела шуму. Екрани можуть бути стаціонарними і пересувними, висота екрану повинна в три і більше разів перевищувати відповідні розміри джерела для того, щоб зона акустичної тіні, а отже, і  $\Delta L_{\text{ЕКР}}$  були якнайбільшими.

В якості об'єкту захисту від шумового забруднення було обрано будівлю Вінницького міського клінічного пологового будинку №1, що знаходиться в безпосередній близькості до проїзної частини по вул. Хмельницьке шосе, 98 у м. Вінниці (рис. 1).

Необхідно розрахувати необхідні параметри шумозахисного екрана-стілки, який створить звукову тінь на увесь пологовий будинок, щоб надійно захистити від негативного впливу шуму, рівень якого коливається в діапазоні 47,6 дБ – 70 дБ.

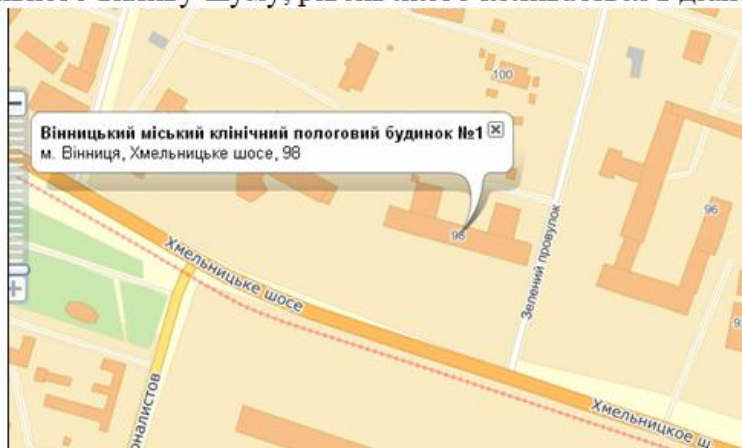


Рисунок 1 – Викопіювання місця розташування Вінницького міського клінічного пологового будинку №1 з картографічного сервісу Google Maps

Визначаємо гранично допустимий рівень шумових характеристик машин, які проїжджають по вул. Хмельницьке шосе, поблизу Вінницького міського клінічного пологового будинку №1. Вихідні дані для розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунків гранично допустимого рівня шумових характеристик машин.

Гранично допустимий рівень звукового тиску для території, що безпосередньо прилягає до будівель лікарні згідно з відповідними нормативами $L_{\text{дт}}$ , дБ (дБА)	35
Площа вимірювальної поверхні будівлі пологового відділення, що знаходиться на відстані 1 м від зовнішнього контура машини, $S_{\text{п}}$ , м <sup>2</sup>	1195
Площа контура машини, $S_0$ , м	1
Поправка на групове встановлення машин у типових умовах експлуатації, $\Delta L$ , дБ (дБА)	10

Отже,  $L_{oi} = L_{dr} + 10 \lg \frac{S_n}{S_0} - \Delta L = 35 \text{ дБ} + 10 \cdot \lg \frac{1195 \text{ м}^2}{1 \text{ м}^2} - 10 \text{ дБ} = 56 \text{ дБ}$ .

Однак, практика свідчить, що еквівалентні та максимальні рівні звуку, що створюються засобами автомобільного транспорту за 2 м від огорожувальних конструкцій пологового будинку, повернутих у бік магістральної вулиці Хмельницьке шосе, 98, значно перевищують допустиме значення в 35 дБ. Тому, доцільним є розроблення схеми екрану для будівлі пологого відділення.

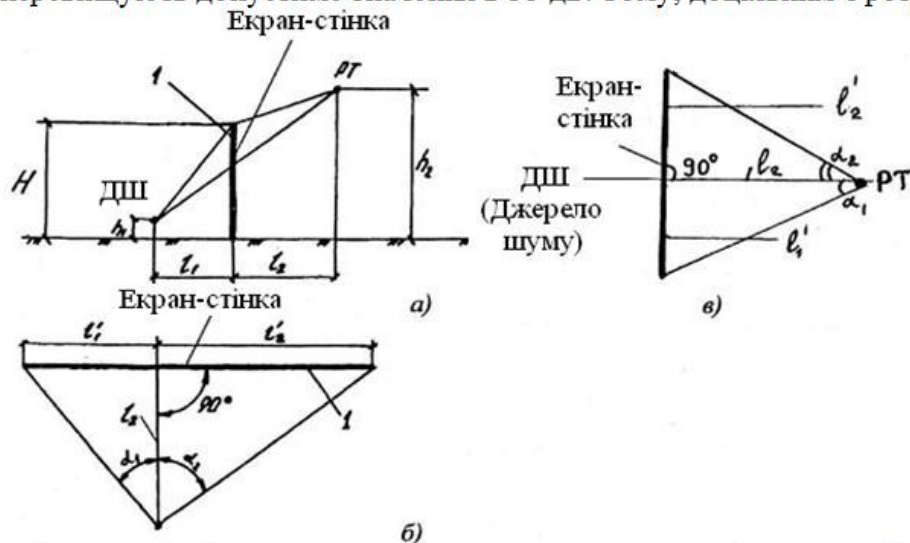


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення ефективності зниження шуму екраном-стілкою: а) – розріз; б) – план; в) – план.

Величину відносного зниження рівня звуку екраном скінченної довжини у випадку лінійного джерела шуму обчислюємо за (4)

$$A_{2л} = \Delta L_{\text{ЕКР}} \cdot \alpha + W, \quad (4)$$

де  $\Delta L_{\text{ЕКР}} \cdot \alpha$  – найменша із величин  $\Delta L_{\text{ЕКР}} \cdot \alpha_1$  та  $\Delta L_{\text{ЕКР}} \cdot \alpha_2$ . Отже, визначаємо екрануючу ефективність стіни за наступних умов, заданих в табл. 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані для розрахунків акустичної екрануючої ефективності стіни

Параметр	Значення параметру
Відстань від джерела шуму до екрану-стілки, $l_1$ , м	12
Відстань від екрану-стілки до будівлі пологового відділення, $l_2$ , м	56
Висота екрана-стілки, $h$ , м	3
Довжина екрана-стілки, $L$ , м	90
Висота від поверхні проїзної частини вулиці, $h_1$ , м	1
Висота будівлі пологового відділення, $h_2$ , м	18
Проекція відстані $l_1$ , м	36,6
Проекція відстані $l_2$ , м	26,2
Зниження рівня звуку екраном-стілкою, $\Delta L_{\text{ЕКР}}$ , дБ	0,5

Для розрахунку акустичної ефективності екрану при лінійному джерелі шуму (розрахункова схема представлена на рис. 1) необхідно:

1) намалювати у довільному масштабі схему розташування екрану і розрахункової точки (РТ); транспортні засоби зображуються точкою, взятою по осі, найбільш віддаленою від точки розрахунку, смуги або колії руху на висоті 1 м від поверхні проїзної частини вулиці;

2) з'єднати прямими лініями розрахункову точку (РТ) із краями екрану, опустити перпендикуляр з розрахункової точки на екран і визначити кути  $\alpha_1$  й  $\alpha_2$  між перпендикуляром і прямими лініями, що з'єднують розрахункову точку із краями екрану;

3) в залежності від величини  $A_{2л}$  і кутів  $\alpha_1$  й  $\alpha_2$  визначити величини зниження рівня звуку екраном за довідковою таблицею;

4) визначити різницю між  $\Delta L_{\text{ЕКР}} \cdot \alpha_1$  і  $\Delta L_{\text{ЕКР}} \cdot \alpha_2$ . В залежності від значення цієї різниці необхідно визначити поправку  $W$ .

1) Обчислюємо кути  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  за формулами 5 і 6:

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{l'_1}{l_2}\right) = \arctg\left(\frac{36,6}{56}\right) = 33^\circ; \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \arctg\left(\frac{l'_2}{l_2}\right) = \arctg\left(\frac{26,2}{56}\right) = 25^\circ. \quad (6)$$

2) Визначаємо  $\Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_1}$  і  $\Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_2}$  та різницю між ними:

$$\Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_1} = 0,5 \text{ дБ} \cdot 25 = 12,5 \text{ дБ}; \quad \Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_2} = 0,5 \text{ дБ} \cdot 33 = 16,5 \text{ дБ}. \quad \Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_1} - \Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_2} = 4 \text{ дБ}.$$

3) Для точкових джерел шуму величина зниження рівня шуму  $A_{2\text{Б}}$ , згідно таблиці, дорівнює 8 дБ.

4) Згідно величини різниці між  $\Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_1}$  та  $\Delta L_{\text{ЕКР} \cdot \alpha_2}$ , що становить 4 дБ, знаходимо поправку  $W = 1,5$  дБ.

5) Знаходимо величину відносного зниження рівня шуму, створюваного автотранспортом, екраном скінченної довжини за формулою 4:

$$A_{2\text{Д}} = 12,5 \text{ дБ} + 1,5 \text{ дБ} = 14 \text{ дБ}.$$

Отже, для скорочення довжини звукових променів, як показали розрахунки даної роботи, саме великі екрануючі споруди дають більшу ефективність. Шумозахисний екран-стілка висотою 3 м та шириною 90 м рекомендується використовувати для зниження рівня автомобільного шуму, акустична екрануюча ефективність якого складає 14 дБ, поблизу Вінницького міського клінічного пологового будинку №1.

З метою збільшення звукозахисної здатності екран-стілки необхідно оснастити звуковбирним облицюванням товщиною не менш 50 мм із боку джерела шуму. Звукопоглинаюче облицювання варто кріпити на твердій основі безпосередньо на поверхні екрана. В якості звукопоглинаючого матеріалу доцільно використовувати ті матеріали, в яких поглинання здійснюється за рахунок в'язкого тертя повітря в порах (волокнисті пористі матеріали типу ультра тонкого скляного або базальтового волокна), в результаті чого кінетична енергія падаючої звукової хвилі переходить в теплову енергію матеріалу. Якщо використати для звукопоглинаючого облицювання екрану два залізних листи по 2мм і 40мм, з мінеральною ватою в якості звуковбирного матеріалу, то буде досягнуто зниження рівня шуму додатково на 18 дБ.

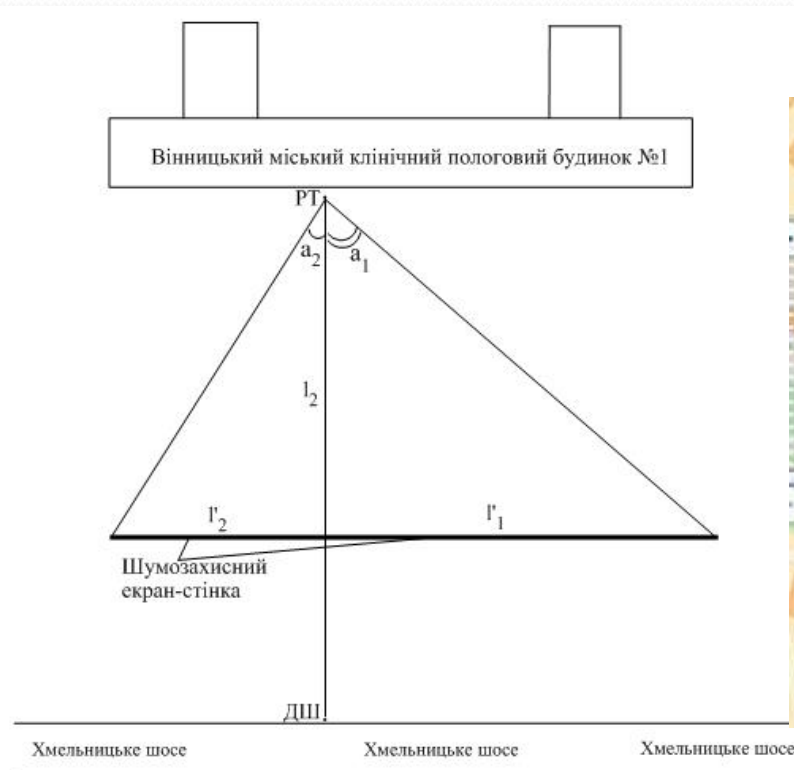
Отже, завдяки шумозахисному екрану-стілці, висота якого 3 м, а довжина 90 м, із додатковим звукопоглинаючим облицюванням, що складається з двох залізних листів та мінеральної вати в якості звуковбирного матеріалу, буде досягнуто зниження рівня шуму, створюваного автомобільним транспортом, на 32 дБ.

Для захисту звуковбирного матеріалу від попадання вологи необхідно передбачати захисне покриття у вигляді плівки. Зовні екран зі звуковбирним облицюванням повинний захищатися перфорованими аркушами з алюмінію, сталі або пластика.

Також зовнішня сторона шумозахисного екрана-стілки може бути використана для розміщення рекламних матеріалів або ж використана в цілях стріт-арту з метою урізноманітнення та колористичного насичення урбосередовища.

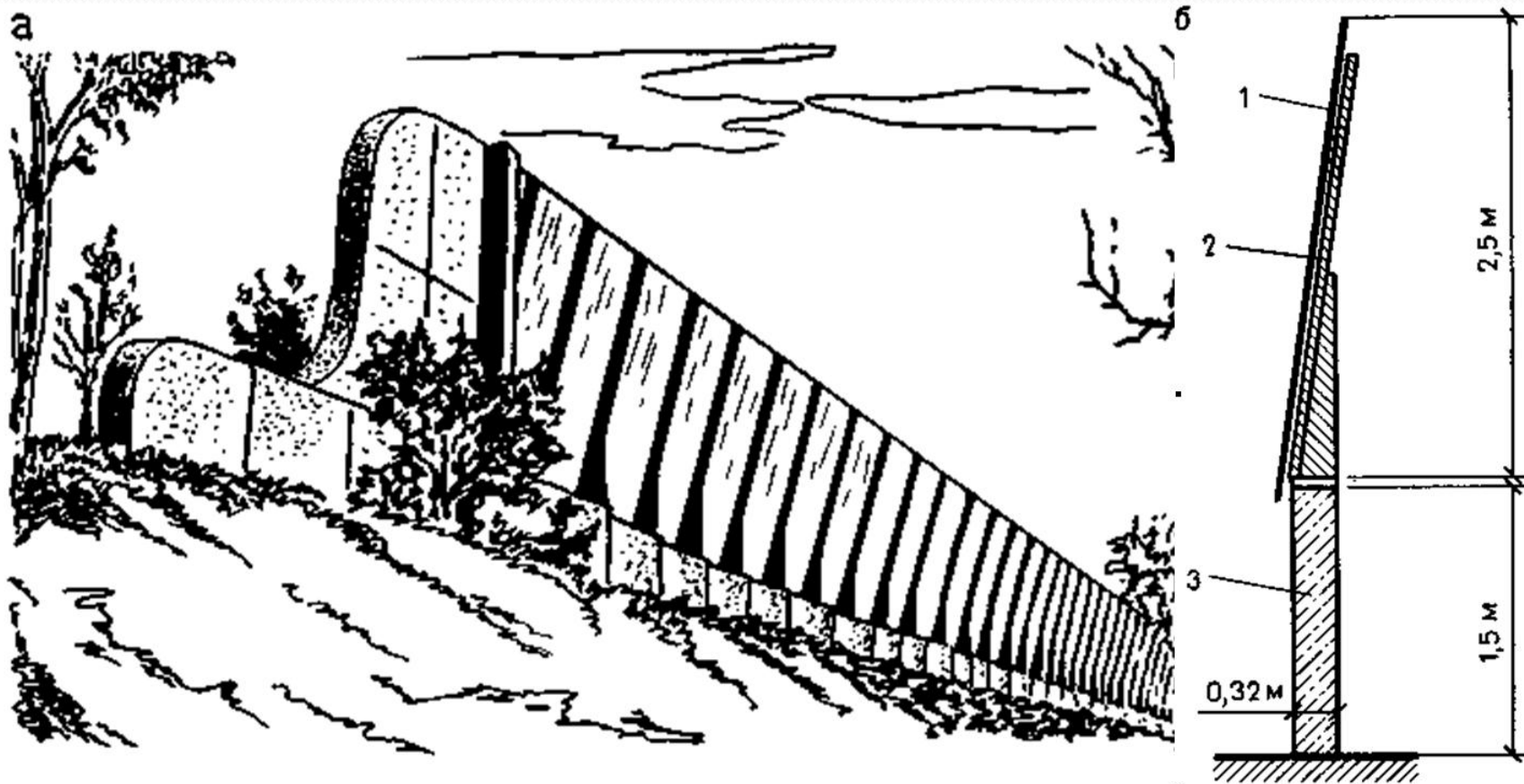
Для покращення шумозахисного ефекту рекомендовано використовувати зелені насадження, сформовані у вигляді спеціальних шумозахисних смуг, які можуть давати ефект зниження рівня шуму до 8 дБ. Для цього шумозахисні смуги зелених насаджень повинні представляти собою спеціальні щільні насадження великих швидкоростучих деревно-кущових порід з густою, низько опушеною щільною кроною. Проміжок під кронами повинен бути закритий кущами.

# Схема розташування шумозахисного екрану-стілки біля Вінницького міського клінічного пологового будинку №1



1 – шумозахисний екран-стілка, довжиною  $L=90$  м; 2 – висота екрана-стілки  $h=3$  м; 3 – відстань від смуги руху проїзної частини (джерела транспортного шуму) до екрану-стілки,  $l_1=12$  м; 4 – відстань від екрану-стілки до будівлі пологового відділення,  $l_2=56$  м.

# Ескізний проект будівельно-акустичного екрану по вул. Хмельницьке шосе, 98 (м. Вінниця)



а – загальний вигляд; б – конструктивна схема: 1 – ущільнене скло; 2 – металевий каркас; 3 – бетонна стінка.

В результаті будівля Вінницького міського клінічного пологового будинку №1 по вул. Хмельницьке шосе, 98 буде знаходитись в зоні дії звукової тіні розробленого шумозахисного екрану-стінки і рівень транспортного шуму буде знижено на 32 дБ.

## Можливі еколого-економічні результати реалізації природоохоронних шумозахисних заходів

1. Значне покращення питомих показників шумового забруднення на визначеній території житлової забудови.
2. Зменшення загальної чисельності захворюваності населення мікрорайону пов'язаної з негативним впливом транспортного шуму.
3. Відновлення рекреаційних зон та зон відпочинку в межах території мікрорайону.
4. Покращення умов існування різних видів тваринного світу та збільшення його видового складу.

1. Удосконалений метод розрахунку та проектування шумозахисних конструкцій для зменшення антропогенного транспортного шуму в межах житлової забудови міста, що дозволило підвищити точність розрахунків.
2. Удосконалені шумозахисні засоби для магістральних транспортних потоків, що дозволило підвищити рівень шумозахисту житлової забудови.

## **Практичне значення**

Розраховані необхідні параметри шумозахисного екрана-стілки, який створює звукову тінь (знижує вплив транспортного шуму, рівень якого коливається в діапазоні 47,6 дБ – 70 дБ) на будівлю Вінницького міського клінічного пологового будинку №1, що знаходиться в безпосередній близькості до проїзної частини по вул. Хмельницьке шосе, 98 у м. Вінниці.

Результати проведених досліджень доцільно використати в практиці екологічного моніторингу шумового забруднення, а також у навчальному процесі екологів.



В роботі розглянута характеристика антропогенного транспортного шуму, у якій проаналізовано джерела і класифікація шумів, їх об'єктивні акустичні та спектральні характеристики та приведені дані по біологічній дії шумів на навколишнє середовище та організм людини. Запропоновані заходи для захисту від транспортного шуму.

Акустична ефективність екрана залежить від його висоти, довжини та звукоізоляційних властивостей. Однак зниження рівня шуму, яке забезпечується екраном на території і в приміщеннях забудови, залежить не лише від його акустичної ефективності, але також і від відстані між магістральною вулицею або дорогою і екраном, відстанню між екраном і територіями або будинками, які захищаються від шуму, висоти розрахункових точок на території або в приміщеннях будинків і акустичних властивостей поверхні території.

1. В роботі досить чітко визначено основні джерела шуму, головними з яких є транспорт, промислові підприємства, заводи, теплові електростанції тощо. Для кожного джерела забруднення повинно проводитись його нормування, що встановлює гранично допустимі рівні звуку для різних зон та в різних час доби.

2. Оскільки шум досить негативно впливає на людину та навколишнє середовище в цілому, потрібно розробляти певні методи зниження шумового навантаження. Деякі найголовніші методи визначені в даній роботі і є досить ефективними, хоча й високовартісними. Кожний метод є індивідуальним для окремого джерела шуму і визначається за конструкцією та особливостями виробничих приміщень.

3. Проведена еколого-економічна оцінка реалізації будівельно-акустичних засобів, та встановлено, що доцільним є виготовлення шумозахисного екрану із бетону марки 300.

4. Для досягнення максимального зниження рівня шуму в забудові і зменшення висоти екрана відстань між проїжджою частиною і екраном слід приймати мінімальною з врахуванням вимог до забезпечення безпеки руху і нормальної експлуатації дороги і транспортних засобів.

5. Матеріали для виготовлення екранів-стінок слід підбирати, в основному, виходячи з конструктивних та економічних поглядів. Крім того, вони повинні бути довговічними, стійкими до атмосферних впливів, впливів вихлопних газів автомобілів, моторних мастил, стійкими до дії механічних засобів очищення.

6. До найбільш поширених матеріалів, які застосовуються для будування екранів, відносяться бетон і залізобетон. Конструкції окремих елементів екранів повинні забезпечувати щільне їх приєднання один до одного для створення акустично непрозорого екрана. В місцях розташування зупинок транспорту для забезпечення проходу людей необхідно передбачати розриви в екранах.

7. При розробці проектів комбінованих екранів необхідно прагнути до вибору таких конструкцій, конструктивних елементів і форми екрана, щоб екран справляв враження природного, випадково створеного природою об'єкта.

8. Колір екранів може застосовуватись не лише для зменшення монотонності і надання їм кращого зовнішнього вигляду, а й для виконання інформаційної функції для водіїв та пішоходів.

9. Своєрідними екранами можуть бути суцільні огороження балконів на фасадах будинків. Однак такі екрани потребують точного проектування з врахуванням траєкторії прямих і відбитих звукових променів, так як в протилежному випадку вони можуть стати причиною підвищення рівня звуку в приміщеннях будинків. В будь-якому випадку, поверхні балконів з суцільним огороженням рекомендується обкладати звукопоглинальними матеріалами.

Отже, для зниження шуму автомобільного транспорту ефективним є влаштування протишумових екранів впродовж швидкісних автотрас та селітебних районах м. Вінниці та інших міст України.

## Додаткові рекомендація по зниженню транспортного шуму у м. Вінниці

1. Віддалення об'єкта житлової і громадської забудови від джерела шуму.
2. Зональне планування та забудова території підприємства і житлового масиву, виходячи з вимог розташовувати такі будівлі, як адміністрації, школи, лікарні подалі від шуму.
3. Використання першого ряду забудови у вигляді безперервного екрануючого бар'єра, з будівель комунального та побутового призначення.
4. Використання природного рельєфу місцевості як екранів і бар'єрів на шляху поширення шуму.
5. Створення густих смуг лісонасаджень поблизу проїзної частини доріг.
6. Розташування проїзної частини у в'язці.
7. Зниження інтенсивності руху на проїзній частині поблизу житлової забудови.
8. Зниження швидкості руху автотранспорту.
9. Зменшення або заборона проїзду вантажних автомобілів.
10. Додаткове підвищення звукоізоляції вікон і фасадів виробничих і житлових будинків.
11. Орієнтація всіх тихих приміщень вікнами в протилежну сторону від джерела шуму.

## **Апробація результатів роботи**

Викладені у магістерській кваліфікаційній роботі положення доповідались на таких наукових конференціях:

1. ІХ Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії». ДВНЗ “Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім.Г.Сковороди”, (м.Переяслав-Хмельницький, 2018), а також у щорічних науково-технічних конференціях ВНТУ.

### **Публікація результатів роботи:**

О.І. Щербань Будівельно-акустичний екран для зниження рівня транспортного шуму // ІХ Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії» - Переяслав-Хмельницький: ДВНЗ “Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім.Г.Сковороди”, 2018 – С. 19-21.

### ***Подяки***

Автор вдячний директору департаменту архітектури та містобудування міської ради, головному архітектору міста Вінниці **Рекуті Олександрю Сергійовичу** за розуміння і моральну підтримку у проведенні досліджень магістерської кваліфікаційної роботи.



*Доповідь закінчена.*

*Дякую за увагу!*