

# Методи розрахунку звукоізоляції багат шарових конструкцій

Біда<sup>†</sup> Д. В., ORCID [0000-0001-5185-0927](https://orcid.org/0000-0001-5185-0927)

Пушечнікова Т. П., ORCID [0000-0003-1703-7136](https://orcid.org/0000-0003-1703-7136)

Заєць<sup>§</sup> В. П., PhD доц., ORCID [0000-0002-2232-9187](https://orcid.org/0000-0002-2232-9187)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)

Київ, Україна

**Анотація**—Розглянуто сучасні методи розрахунку звукоізоляції багат шарових неоднорідних конструкцій, які широко застосовуються в сучасному будівництві. Були проведені розрахунки подібних конструкцій, використано сучасне програмне забезпечення та алгоритм наданий у Державних нормах будівництва. Після аналізу виявлені недоліки та неточності обох вище вказаних методів і розроблено методологію розрахунку звукоізоляції конструкцій, засновану на теоретичних методах вітчизняних Державних стандартів будівництва, новозеландському програмному забезпеченні INSUL та практичних результатах експериментів. Проведено порівняльний аналіз цих методик.

**Ключові слова** — звукоізоляція; архітектура; багат шарова конструкція; дах; шум; шумозахист

## I. ВСТУП

Більшість будівель торгово-розважального типу (торгові центри, концертні зали, виставкові центри) — це будівлі ангарного типу. У торгових центрах широко розповсюджене розміщення атракціонів, аквапарків, картингів, кінотеатрів та інше. Наприклад, Київський торговий центр Ocean Plaza, Dream Town тощо. Музика в концертних залах, звукове оформлення виставкових центрів, ресторанах, залах, магазинах, шум систем водопостачання у аквапарках, звук кінопоказів у кінозалах - це шум, який поширюється на прилеглі будівлі. Торгові центри знаходяться в безпосередній близькості від житлових будинків, що призводить до необхідності забезпечити звуко та шумоізоляцію будівель навколо.

Для простоти вся структура гнучкої покрівлі ділиться на три рівні. Перший - це «стандартна» конструкція гнучкої покрівлі. Він складається з мембрани з ПВХ товщиною 2 мм (яка відіграє роль захисного шару), базальтової (кам'яної вати) щільністю 140-150 кг / м<sup>3</sup> - термоізолятора і профільного сталевого листа товщиною 0,5 -1 мм. Ця конструкція базується на фермовій основі. Другий - це додаткова звукоізоляція, розташована посередині і складається з шару мінеральної вати, 2 листів гіпсокартону, шару мінеральної вати та ще 2 шарів гіпсокартону. Третій шар - це підвісна стеля, який виконує декоративну і звукокорекційну функцію.[1]

Наразі в країні немає нормативних документів для обчислення звукоізоляції багат шарових конструкцій, таких як гнучка покрівля, тому для визначення частотних характеристик ізоляції повітряного шуму конструкцій використовувалося програмне забезпечення INSUL.

Сьогодні все більш актуальною проблемою є звукоізоляції приміщень. Особливо гостро це питання у великих містах, де існує велика кількість різних

джерел шуму, і вона зростає з кожним днем. У той же час зростає попит на високоякісні звукоізоляційні матеріали.

У сучасному метушливому світі можливість бути в мирі та тиші - це розкіш, доступна не кожному. Ви майже завжди можете захистити високоякісні вікна від звуків з вулиці (як їх вибрати, ми писали в попередніх статтях), але позбутися невидимої «присутності» сусідів - непросте завдання. Нічний плач дітей, гучні святкування дня народження, спів під душем та багато іншого можуть бути не просто джерелами роздратування. Якщо неможливо якісно відпочити у власному будинку, можуть виникнути навіть проблеми зі здоров'ям - хронічна втома та невроз. Крім того, не можна повноцінно насолоджуватися прекрасною гучною музикою чи фільмом у домашньому кінотеатрі, не боючись комусь заважати.

Вихід один - виконати якісну звукоізоляцію, за допомогою неї цілком можливо зробити це своїми руками. Сьогодні ринок пропонує широкий асортимент цієї продукції, тому сучасному споживачеві може бути дуже важко самостійно зрозуміти всі нюанси та техніко-експлуатаційні характеристики цієї категорії товарів. Як вибрати звукоізоляційні матеріали, які кращі та ефективніші в конкретній ситуації, а також які характеристики вони мають, допоможе розібратися ця стаття.

## II. Типи шумів

Шлях для вирішення конкретних технологічних проблем - залежить від типу шуму, функціонального призначення будівель та експлуатаційних вимог. В умовах багатоквартирних будинків перегордки та несучі стіни є лише умовним бар'єром для поширення звукових хвиль. Однак, щоб отримати повну незалежність від шуму і не турбувати сусідів, проблему можна вирішити дуже легко - потрібно провести якісну звукоізоляцію.



Спочатку потрібно визначитися з типом шуму, який впливає. Вони поділяються на три загальні групи:

Повітряний шум - поширюються по повітрю. Якщо на шляху звукової хвилі виникає бар'єр у вигляді стін, перегородок чи стелі, то він не виходить, але викликає в них коливання. Вони передаються частинкам повітря в сусідні приміщення. Прикладами такого шуму можуть бути гучний приймач, сусіди, що розмовляють, плач дитини тощо. Якісний звукоізоляційний матеріал здатний пригнічувати вібрації, допомагаючи усунути проблему [2].

Ударний шум - виникає під час механічного впливу на конструкцію. Це може бути перестановка меблів, падіння предметів на підлогу, удари та багато іншого. Тоді шумоізоляцію потрібно виконувати на підлозі та стелі;

Структурний шум - у цьому випадку звуки поширюються по будівельних конструкціях. Найважче позбутися саме таких шумів, тут допоможе лише повна звукоізоляція всієї квартири [2].

Також є повна та локальна звукоізоляція. Останній метод передбачає ізоляцію від шуму особливо слабких точок.

### III. ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

У сучасному будівництві найбільш популярними та поширеними є такі види звукоізоляційних матеріалів, згідно загальноприйнятої класифікації:

- мінеральна вата;
- пінопласт;
- в'язкі мембрани;
- сендвіч панелі;
- натуральна пробка;
- целюлозні матеріали;
- скловолокно;
- гумові матеріали;
- звукоізоляційна підкладка.

Кожен з них вартий детального огляду, оскільки має ряд переваг та обмежень [7].

Одним з найпоширеніших матеріалів сьогодні є мінеральна вата. Вона чудово поглинає звуки — як ударні, так і повітряні. Ці характеристики дозволяють бути найпопулярнішим матеріалом для цих цілей. Для роботи застосовуються спеціальні плити або килимки з акустичної мінеральної вати.

Такі вироби характеризуються високим рівнем звукоізоляції, що досягається завдяки спеціальному розташуванню волокон. Структура створює порожнини на відкритому повітрі, які чудово гасять звукові коливання. Завдяки цьому мінеральна вата має чудову звукоізоляційну здатність, при цьому характеризується низькою динамічною жорсткістю. Дуже важливим показником ефективності звукоізоляції є коефіцієнт звукопоглинання  $\alpha_r$ , який залежить від того, чи шерсть приклеєна до поверхні чи відокремлена від неї повітряним простором, чи є зверху обли-

цювальні матеріали. Крім того, коефіцієнт звукопоглинання  $\alpha_r$  залежить від товщини матеріалу. Як правило,  $\alpha_r$  приймає значення від 0,75 до 1.

Пінопласт - другий за популярністю матеріал для цих цілей. Однак він здатний поглинати лише звуки ударного походження, і для того, щоб отримати оптимальні звукоізоляційні властивості, його слід злегка зтиснути, щоб конструкція стала зжатою. Але незважаючи на це, матеріал надзвичайно поширений. У зв'язку з такими специфічними параметрами пінопласт використовується в основному для забезпечення утеплення підлог та стелі. Якщо цей матеріал покласти на підлогу, його можна ідеально стиснути, заливши бетонну стяжку товщиною 3-6 см.

Армування стяжки дає змогу захистити її від розтріскування внаслідок рухів по деформованій основі - під впливом такого навантаження висота матеріалу зменшується на 2-4 мм, гранули стискаються, забезпечуючи прекрасне придушення ударного шуму в діапазоні 25-33 дБ.[7]

Потрібно класти матеріал рівномірно, близько один до одного. Шви зміщуються на половину довжини пластини, а шви по краю зазвичай виготовляються з того ж матеріалу. Перед заливкою стяжки на основу пінопласту укладається відокремлювальний шар плівкового матеріалу або покрівельного матеріалу. Для звукоізоляції ідеально підійдуть плити невеликої товщини — до 4 см.[7]

### IV. ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ КОНСТРУКЦІЇ

В'язкопружні мембрани також є дуже зручним матеріалом для звукоізоляції. Вони використовуються, як правило, для підвищення захисту каркасних стін від сторонніх звуків. Однак в'язкопружні мембрани також використовуються для:

- стін;
- стель;
- підлог;
- кривель;

Являють собою синтетичні звукоізоляційні матеріали високої щільності, виготовлені з полімерів, без використання бітумінозних смол і гуми. Характеризуються високими показниками еластичності, гнучкості, міцності, довговічності та вогнестійкості. Також використовуються як вібраційні демпфуючі середні шари для підвищення звукоізоляції стін каркасу та запобігання виникненню резонансних ефектів. В'язкопружна мембрана наклеюється на листи гіпсокартону з внутрішньої сторони опорної рами. Використання таких матеріалів дозволяє підвищити захист від сторонніх звуків на 25-32 дБ.

Поліуретан також часто використовується для звукоізоляції окремих частин квартири - ванної, туалету, кухні, вітальні та інших. Як правило, спінені полімери застосовують у студійних кімнатах, як найпростіший спосіб забезпечити звукоізоляцію стін, стелі та перегородок між сусідніми квартирами чи кімнатами.

Останнім часом сендвіч-панелі стали набувати великої популярності на ринку звукоізоляційних матеріалів. Вони можуть бути абсолютно різними за довжиною і складом, використовуються, як правило,

для звукоізоляції одношарових перегородок. Сьогодні все частіше для створення додаткового захисту одношарових перегородок (наприклад, цегляних стін) від звукових хвиль ми почали використовувати готові звукоізоляційні системи. Це сендвіч-панелі різної товщини, які складаються з поєднання матеріалів різної щільності та структурних характеристик. До переваг їх використання можна віднести відсутність необхідності встановлення металевого каркаса - вони кріпляться безпосередньо до стін.

Один з найпопулярніших варіантів — поєднання щільного шару (гіпсоволокнистий лист) і легкого (мінеральна вата) - товщина і структура матеріалів можуть змінюватися. Монтуються за допомогою вібростійких матеріалів через спеціальні вузли, виготовлені виробником. Товщина таких панелей може бути від 40 до 150 мм, і вибирається виходячи з товщини несучої перегородки. Підвищення показника звукоізоляції залежить від щільності і може становити від 10 до 20 дБ.

Можливо також використання триплексних панелей у вигляді міцних багатошарових целюлозних туш з мінеральними наповнювачами, в яких використовуються спеціально підібрані мінералогічні композиції. Їх кріплять до стін дюбелями (а можливо, і до ящика), а також укладають на підлогу, замінюючи системи плаваючої підлоги та цементні стяжки. Кожен із шарів панелі має свої показники багаторазового відбиття та розсіювання звукових хвиль, що дозволяє досягти зменшення повітряного шуму до 37 дБ при товщині матеріалу 10 мм.[9]

#### V. ДСТУ ТА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ

Експеримент базувався на двох джерелах. Перший - ДСТУ-Н Б В.1.1-34, другий – ПЗ Інсул. Перше джерело – державні норми розрахунку звукоізоляції конструкцій. Друге джерело - програмне забезпечення. Розрахунок у ДСТУ складається з серії формул, складання графіків та перетворення графіків, щоб отримати характеристики звукоізоляції конструкції. Isul - це повністю автоматизована програма, в якій користувачеві потрібно лише вказати склад протидії (тип матеріалів, товщина, щільність, модуль пружності тощо), що значно спрощує і пришвидшує процес розрахунку.

Для обчислення звукоізоляції багатошарових огорожувальних конструкцій можемо використовувати алгоритм, викладений у ДСТУ-Н Б 1.1.34, ISO та інших будівельних нормах. Загалом частотна характеристика звукоізоляції наведена в [4].

Частотні характеристики ізоляції шуму повітря каркано-покривною перегородкою з різною товщиною одинарних листів обшивки (з співвідношенням їх товщини не більше 2,5) будуються у такій послідовності:

- 1) побудова частотної характеристики ізоляції повітряного шуму за допомогою одного листа більшої товщини з поверхневою щільністю  $m_1$  (ABCD лінія на рис. 1). Координати точок В і С ( $R_B$ ,  $R_C$  і частоту  $f_B$  та  $f_C$ ) визначаються згідно табл. 1. Частоти  $f_B$  та  $f_C$  визначаються і округляються до середньої геометричної частоти смуги третинної

октави, в межах якої визначається частота  $f_b$  або  $f_c$ . Переріз лінії АВ побудований з нахилом 4,5 дБ на октаву, а ділянка CD - з нахилом 7,5 дБ на октаву відповідно до рис. 2. Точки В і С з'єднані між собою.

Ламана лінія ABCD на рис. 1 - це частотна характеристика ізоляції від повітряного шуму  $R$ , дБ, з одношаровою тонкою акустично гнучкою огорожувальною конструкцією з листових матеріалів. Частота  $f_{C2}$  визначається (згідно табл. 1) для другого листа обшивки меншої товщини. Допоміжна лінія A1B1 побудована до частоти  $f_{B2}$  шляхом додавання до значень звукоізоляції листа з більшою товщиною корекції  $\Delta R_1$  для збільшення поверхневої щільності огорожі вцілому, що визначається відповідно до табл. 2 залежно від співвідношення  $m_{\text{сум}}$  (без рами) і товщини поверхні листа більшої товщини  $m_1$ . Між частотами  $f_{B2}$  та  $f_{C2}$  отримуємо горизонтальний відрізок B1C1. З точки C1 проводиться лінія C1D1 з нахилом 7,5 дБ на октаву. У цьому випадку до загальної проектної щільності поверхні при визначенні поправки  $\Delta R_1$ , дають поверхневу щільність наповнювача повітряного зазору.

- 2) визначення резонансної частоти  $f_p$ . При заповненні повітряного зазору визначається загальна або часткова маса мінеральних ват або склопластикових плит або килимів  $f_p$  згідно формули (1):

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{d_{II} m_1 m_2}}, \quad (1)$$

де  $m_1$  та  $m_2$  загальна поверхнева щільність, що відповідає кожній з оболонок [8].

- 3) до частоти резонансу включно ( $f \leq f_p$ ), частотна характеристика звукоізоляції цієї конструкції збігається з частотною характеристикою, побудованою для перегородки з порожнім повітряним зазором (розділ A1EF на рис. 5).

На частотах  $f \geq 1,6f_p$  звукоізоляція цієї конструкції збільшується на коефіцієнт корекції до величини корекції  $\Delta R_4$ , дБ, який визначається відповідно до табл. 3.

При побудові частотної характеристики звукоізоляції на частоті  $f = 1,6f_p$  (дві 1/3 октавні смуги вище резонансної частоти), точка Q з ординатою визначається значенням  $\Delta R_4$  вище точки, що лежить на відріжку FK і з'єднує його з точкою F.

Тоді з точки Q будується характеристика частоти паралельно частотній характеристиці звукоізоляції конструкції з неповним повітряним зазором.

Ламана лінія A1EFQK1L1M1S1T1 на рис. 2 є частотною характеристикою ізоляції від повітряного шуму  $R$ , дБ, за допомогою цієї огорожувальної конструкції.

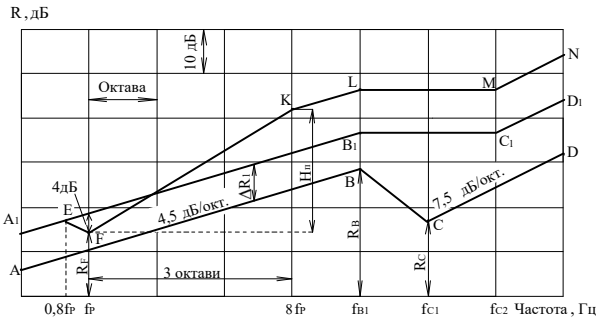


Рис. 1 - Частотна характеристика ізоляції повітряного шуму огорожувальною конструкцією, що складається з двох тонких одинарних листів різної товщини з повітряним зазором між ними

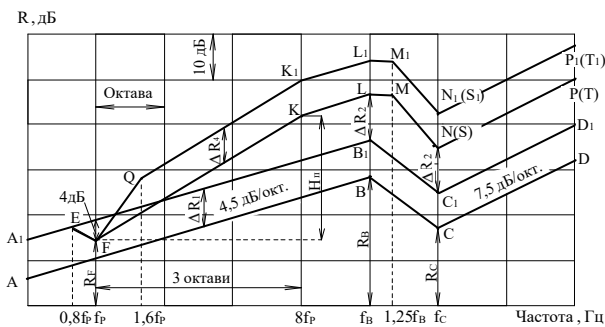


Рис. 2 Частотна характеристика ізоляції повітряного шуму каркасною перегородкою із заповненням зазору між оболонками звукопоглинальним матеріалом

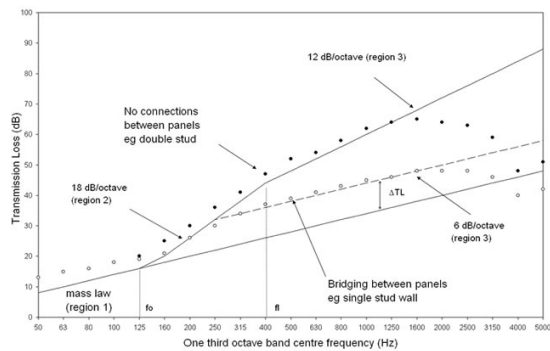


Рис. 3 Частотна характеристика ізоляції повітряного шуму розрахована INSUL

VI. РОЗРАХУНОК ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ INSUL

INSUL прогнозує втрату передачі подвійних панельних систем у 4 різних частотних зонах.

A. Область 1

На низьких частотах закон мас визначає спочатку втрати передачі. Transmission Loss(TL) збільшується на 6 дБ / октаву, але INSUL може враховувати низькочастотну неефективну радіацію (посилання на розділ на окремих панелях).

B. Область 2

Вище резонансної частоти масо-повітряна маса перегородки ( $f_0$ ), яка визначається вагою панелей та повітряним зазором, TL збільшується на 18 дБ на октаву, коли обидві сторони стають відокремленими.

ТАБЛИЦЯ 1 - ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ТОЧОК В І С.

Матеріал	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$f_B$ , Гц	$f_C$ , Гц	$R_B$ , дБ	$R_C$ , дБ
1 Сталь	7800	6000/h	12000/h	40	32
2 Алюміній	2500-2700	6000/h	12000/h	32	22
3 Скло	2500	6000/h	12000/h	35	29
4 Скло органічне	1200	17000/h	34000/h	37	30
5 Азбестові плити	2100	9000/h	18000/h	35	29
	1800	9000/h	18000/h	34	28
	1600	10000/h	20000/h	34	28
6 Гіпсокартон	1100	19000/h	38000/h	36	30
	850	19000/h	38000/h	34	28
7 Дерев'яні плити	850	13000/h	26000/h	32	27
	650	13500/h	27000/h	30	26
8 Дерев'яні плити з масиву	1100	19000/h	38000/h	35	29

h – товщина одношарової тонкої конструкції в міліметрах.

ТАБЛИЦЯ 2 - КОЕФІЦІЄНТ КОРЕКЦІЇ

$m_{\text{сум}}/m_1$	$\Delta R_1$ , дБ	$m_{\text{сум}}/m_1$	$\Delta R_1$ , дБ
1	2	3	4
1,4	2,0	2,7	6,5
1,5	2,5	2,9	7,0
1,6	3,0	3,1	7,5
1,7	3,5	3,4	8,0
1,8	4,0	3,7	8,5
2,0	4,5	4,0	9,0
2,2	5,0	4,3	9,5
2,3	5,5	4,6	10,0
2,5	6,0	5,0	10,5

Примітка.  $m_{\text{сум}}$  – загальна поверхнева щільність обшивки каркасних перегородок (без рами) або шарів скління, кг/м<sup>2</sup>;  $m_1$  – поверхнева щільність одного аркуша обшивки (або одного скла), кг/м<sup>2</sup>

ТАБЛИЦЯ 3 - КОЕФІЦІЄНТА КОРЕКЦІЇ  $\Delta R_4$

Матеріал наповнювача	Заповнення проміжку, %	$\Delta R_4$ , дБ
Пористі волокнисті (мінеральна вата, скловолокно)	20 %	2
	30 %	3
	40 %	4
	50 % – 100 %	5
Пористий з жорстким каркасом (пінополістирол тощо)	100 %	2

C. Область 3

Коли ширина порожнини стає порівнянною з довжиною хвилі за частотою, модулі порожнини поєднують панелі разом, і TL збільшується на 12 дБ / октаву.



## D. Область 4

Тверді з'єднання виступають звуковими мостами між двома панелями, а TL обмежується постійним значенням, більшим за норму маси, і збільшується лише на 6 дБ / октаву.

## VII. ХІД ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Проаналізувавши результати розрахунку звукоізоляції різних варіантів конструкцій гнучких покриттів, роботи вітчизняних вчених, методику, розроблену в ДСТУ-Н Б В.1.1-34 та [3], [4], [5], [6] розроблена методологія, результати якої розраховані досить точно і збігаються з результатами, отриманими за допомогою INSUL [4]. Порівняльні результати показані на рис. 3 - 12. Розроблений метод показаний нижче:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 - 25 \log \frac{\lambda}{6 \cdot b} + 5, b \geq \frac{\lambda}{3}$$

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2, \frac{\lambda}{3} \geq b \geq \frac{2\lambda}{3}$$

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 - 5, \frac{2\lambda}{3} \geq b \geq \frac{7\lambda}{3}$$

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2, b \geq \frac{7\lambda}{3}$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $b$  – товщина структури.

Порівняльні результати розробленої методики розрахунку з результатами розрахунку за допомогою INSUL зображено на рис. 4-11:

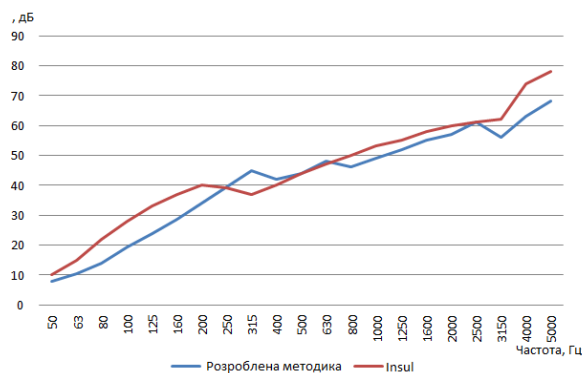


Рис. 4. Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму конструкцією із мінеральної вати 100 мм і 1 аркуша ГКЛ.

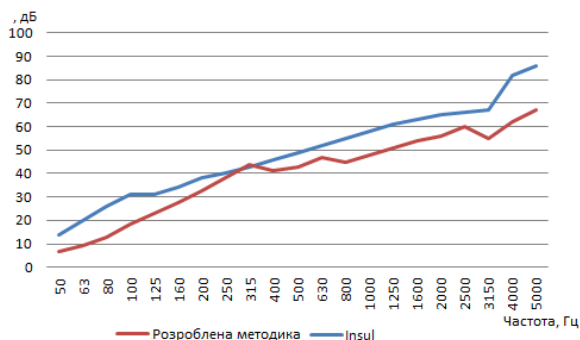


Рис. 5. Частотні характеристики ізоляції шуму повітря з конструкцією важкої мінеральної вати 200 мм та 1 аркуша ГКЛ.

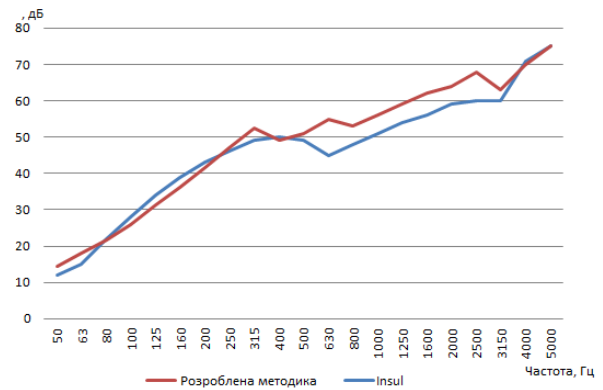


Рис. 6. Частотна характеристика ізоляції повітряного шуму конструкцією з мінеральної вати вагою 50 мм та 2 аркушами ГКЛ.

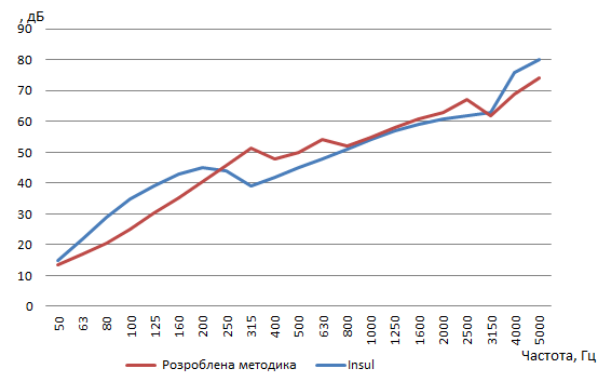


Рис. 7. Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму конструкцією з мінеральної вати вагою 100 мм та 2 аркушів ГКЛ

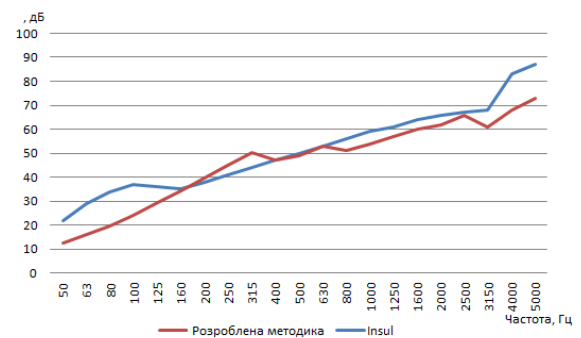


Рис. 8. Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму за конструкцією з мінеральної вати 200 мм та 2 аркушів ГКЛ

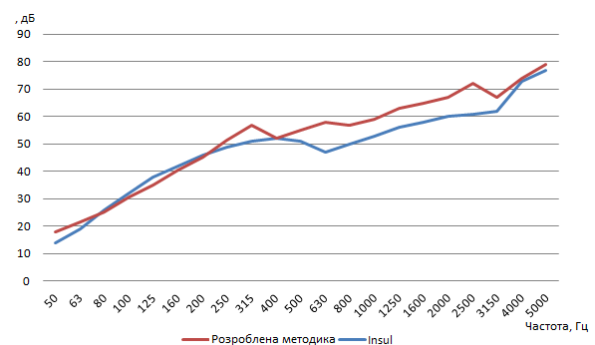


Рис. 9. Частота, характерна для ізоляції повітряного шуму конструкцією з мінеральної вати 50 мм і 3 аркушами ГКЛ



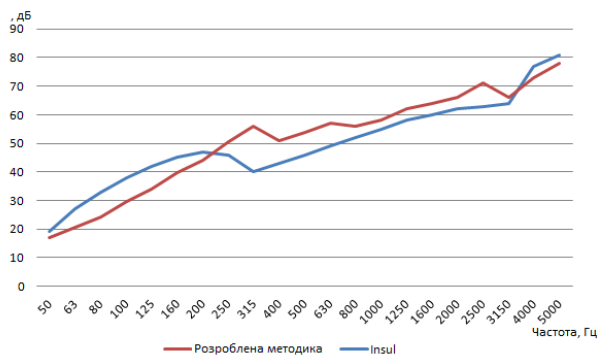


Рис. 10. Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму конструкцією з мінеральної вати 100 мм та 3 аркушів ГКЛ

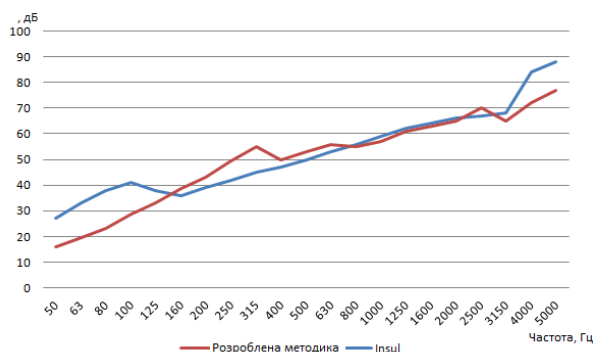


Рис. 11. Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму з конструкцією з мінеральної вати 200 мм та 3 аркушів ГКЛ

### ВИСНОВКИ

Сучасні методи розрахунку звукоізоляції дуже схожі між собою і мають незначні відмінності. Окремлено загальний метод розрахунку. Крім того, одним із варіантів розрахунку може бути Програмне забезпечення INSUL. Його зручність полягає в тому, що він має велику базу матеріалів і конструкцій, часто **Надійшла до редакції 28 лютого 2020 р.**

використовуваних на реальних об'єктах. Ще одна перевага - дружній інтерфейс програми. Однак мінусом можна назвати ціну програмного забезпечення та відсутність пробної версії.

Проблема звукоізоляції покрівель вирішується додаванням листів ГКЛ, але, на жаль, при монтажі пожежних систем, систем освітлення, димових каналів порушується цілісність перекриття, що призводить до погіршення шумозахисту.

Через відсутність нормативних документів розрахунок таких багатошарових структур неможливий, тому всі розрахунки проводилися в програмі INSUL.

Порівняно з програмне забезпечення INSUL та розроблену методику. Останнє потребує вдосконалень та виправлень.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Cremer L., Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall. Akust. Zeitschrift. 1942
- [2] Eihler, F., "Borba s shýmom i zvúkoizoliatsna zdanní", M., Gosstroizdat, 1962
- [3] Osipov, G. L.; YUdin, E. YA., "Snizhenie shuma v zdaniyax i zhilyx rajonax", M., Strojizdat, 1987.
- [4] INSUL Prog: <http://www.insul.co.nz/tech-info/>.
- [5] Zaborov, V. I.; Mogilevskij, M. I.; Myakshin V. N.; Samojlyuk, E. P., "Spravochnik po zashchite ot shuma i vibracii zhilyx i obshchestvennyx zdaniy", K., Budivelnik, 1989.
- [6] Zaborov, V. I.; Lalev, E. M.; Nikol'skij, V. N., "Zvukoizolyaciya v zhilyx i obshchestvennyx zdaniyax", M., Strojizdat, 1979.
- [7] Didkovskij, V. S., Lun'ova S. A., Bogdanov O. V. "Arhitekturna akustika K., KPI, 2012.
- [8] Novak C. M., Logvinets A. C., "Zaschita ot vibratsii i shýma v stroitelstve: Spravochnik."-K.: Búdivelnik, 1990.
- [9] Kreitan, V. G., "Zaschita ot vnyútrennih shýmov v julyh domah", M., Strojizdat, 1990
- [10] Rýkovodstvo po raschetú i proektirovaniú zvúkoizoliatsni ograj-dajúh konstrýktsii zdani, M., Strojizdat, 1983

# Method of Calculation Multilayers Construction

D. V. Bida<sup>f</sup>, ORCID [0000-0001-5185-0927](https://orcid.org/0000-0001-5185-0927)

T. P. Pushechnkova, ORCID [0000-0003-1703-7136](https://orcid.org/0000-0003-1703-7136)

V. P. Zaiets<sup>s</sup>, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-2232-9187](https://orcid.org/0000-0002-2232-9187)

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)  
Kyiv, Ukraine

**Abstract**—Most shopping and entertainment buildings (shopping malls, concert halls, exhibition centers) are hangar type buildings. In malls there is a widespread placement of water parks, go-karts, cinemas etc. For example, the Ocean Plaza shopping mall, Dream Town and more in Kyiv. Music in concert halls, sound design of exhibition centers, restaurants, shops, the noise of water systems in water parks, the sound of movie in movie theaters - this is the noise that spreads to the surrounding buildings. Shopping centers are located in close proximity to residential buildings, leading to the need to provide sound and sound insulation of buildings around. The way to solve specific technological problems depends on the type of noise, the functional purpose of the buildings and the operational requirements. In apartment buildings, partitions and load-bearing walls are just a barrier to the propagation of sound waves. However, to be completely independent of noise and not to disturb neighbors, the problem can be solved very easily - it is necessary to carry out sound insulation. Modern methods of calculating the sound insulation of multilayer non-uniform structures widely used in modern construction are considered. Calculations of similar designs were carried out, modern software and domestic construction norms were used. After analysis, we found the shortcomings of both, and developed their own methodology for calculating such structures, based on theoretical methods of domestic State Building Standards, New Zealand software INSUL, and practical results of calculations of such structures. Conducted a comparative analysis of these techniques. Current methods of calculating sound insulation are very similar and have minor differences. The general method of calculation is outlined. In addition, one of the calculation options may be INSUL Software. Its convenience is that it has a large base of materials and structures, often used on real objects. Another advantage is the friendly interface of the program. However, the downside is the price of the software and the lack of a trial version. The problem of sound insulation of roofs is solved by the addition of sheets GKL, but, unfortunately, the installation of fire systems, lighting systems, smoke ducts violates the integrity of the floor, which leads to deterioration of noise protection. Currently, there are no regulations in the country to calculate the sound insulation of multilayered structures, such as our flexible roof. Compared to INSUL software and methodology developed. The latter needs improvements and fixes.

**Key words** — *sound insulation; architecture; multilayer construction; roof; noise; noise protection.*