Шифр «Реверберація»

ПРОЕКТУВАННЯ ШУМОЗАХИСТУ РОБІТНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ ЧАСУ РЕВЕРБЕРАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗВУКОПОГЛИНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

2020 р.

ЗМІСТ

Вступ 3

Розділ 1. явище реверберації і теоретичний розрахунок 5

1.1. Виявлення і аналіз протікаючих акустичних явищ в закритому приміщені. 5

1.2. Теоретичний розрахунок і аналіз існуючого алгоритму розрахунку часу реверберації в закритому приміщені. 6

1.3. Аналіз існуючого методу розрахунку. 8

1.4. Результати досліджень 11

1.5. Висновки до розділу 1. 13

Розділ 2. Практичне використання методики розрахунку часу реверберації з метою зменшення шуму в приміщеннях адміністративних корпусів виробничих підприємств 14

2.1. Аналіз існуючої в Україні системи санітарного нормування допустимого шуму в приміщеннях громадських будівель. 14

2.2. Оцінка нормативно допустимих рівнів звуку на робочих місцях в обстежуваному приміщенні. 17

2.3. Вихідні дані. 18

2.4. Розрахунок акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання із стельових панелей Fine Fissured (δ = 15 мм).(варіант 1)…21

2.5. Розрахунок акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання із стельових панелей Dune Max (δ = 18 мм) (варіант 2).... 22

2.6. Розрахунок акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання із стельових панелей Ecophon OPTA (δ = 12 мм). (варіант 3) 23

2.7. Обговорення результатів розрахунків акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання за варіантами……23

Висновки……..25

Список використаної літератури 25

Вступ

Проектування кімнат, коридорів, залів, атріумів, вулиць, парків, тощо, чи інших відкритих або закритих площ різноманітне за різними факторами, але кінцевою ціллю являється організація комфортного простору для супутніх процесів життєдіяльності.

Для регулювання психоемоційного стану людини важливі фактори дизайну інтер'єрів і екстер'єрів: колір, світло, сприйняття звуку, декоративні (декоративно-конструктивні) вузли, фактура і так далі, які враховують, зокрема, використовуючи знання з архітектурної фізики.

Так, одним з найважливіших факторів є звук, на рівні зі світлом і кольором, оскільки акустичне середовище складається із:

1) звуку, зокрема людської мови, який може викликати радість, страх, чи занепокоєння;

2) музики, що являється складним комплексом звуків, який викликає великий спектр емоцій в сукупності з оточуючим середовищем;

3) шуму, що викликає дратівливість, ускладнення сприйняття мови, а в деяких випадках є причиною глухоти і інших хвороб.

Таким чином, перед проектувальником стоять задачі:

1. створення умов для найліпшого сприйняття мови і музики;

2. всебічне придушення шуму. [4: с.286]

В більшості випадків джерела шуму встановленні в закритих приміщеннях. При випромінюванні шуму звукові хвилі в кімнаті розповсюджуються безперешкодно тільки до огорож, після чого вони багатократно відбиваються від них. Повітряний об'єм в приміщеннях під дією прямих хвиль від джерела і хвиль, відображених від загорож, приходить в коливальний рух.

З фізичної точки зору замкнутий повітряний об'єм, обмежений

поверхнями, здатними в тій чи іншій мірі поглинати падаючу на них звукову енергію, являє собою лінійну коливальну систему з певним спектром власних часток із декрементами, що характеризують швидкість загасання кожного з власних коливань системи.

Якщо розміри приміщення не надто малі в порівнянні з довжиною хвилі, то власні частоти розташовуються настільки щільно, що будь-яка складова спектра джерела шуму може порушити цілий ряд власних коливань обсягу. [4: с.301]

Для найліпшого сприйняття звукового середовища корегуються форма приміщень – огороджувальних конструкцій, що виправляє час запізнення відображеного шуму, і матеріали – від чого, зокрема, залежить величина ефекту реверберації у створюваному просторі.

Специфічне «забарвлення», яке надає звуку реверберація в приміщеннях, є сильним ефектом, властивим звуку, як результат розумового сприйняття зміни акустичного відношення поряд із слухачем, і, як наслідок, зміни звукового плану. Але, реверберацiйні властивості приміщення не повністю визначають його якість. Так, якщо звуко-, віброізоляція не відповідає вимогам – акустичний фон і, як наслідок, загальне звучання являються не задовільними, що навіть із втручанням сучасних програм не виправляється. [8: с.11]

РОЗДІЛ 1. ЯВИЩЕ РЕВЕРБЕРАЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

1.1. Виявлення і аналіз протікаючих акустичних явищ в закритому приміщені.

В якості основного параметру звукового поля - об’єму середи, в якому виникає обурення в результаті розповсюдження звукової хвилі, в приміщеннях використовується *звукова енергія на одиницю об’єму середи*, яка визначається, як *щільність звукової енергії – ε*, і являється величиною скалярною. Вона характеризує сумарну енергію звукового поля у випадку невизначеного направлення звукових. [4: с.289] Важливо не плутати щільність звукової енергії зі звуковою енергією, де остання величина фактично рівна виконаній роботі над полем.

Після початку розповсюдження звукової хвилі в приміщені виникає процес зростання енергії звукового поля. З часом настає рівноважний стан, тобто середа поглинає стільки ж енергії, скільки її випромінює джерело, при цьому роздивляється випадок рівномірного розповсюдження звукових хвиль. В результаті усі направлення потоків звукових хвиль будуть рівновірогідні, а щільність звукової енергії в приміщені буде постійною, що сходиться з властивостями ізотропності і однорідності звукового поля відповідно. Таке поле називається *дифузним*.

Оскільки звукова хвиля розповсюджуються в середі до меж іншої середи, або огорожі, а потім частково відбивається, в залежності від коефіцієнту звукопоглинання межуючої середи – огороджувальної конструкції, тощо, то вони просто накладаються одна на одну, не обурюючи одне одну, що називається *принципом суперпозиції* (накладення) звукових хвиль в межах існуючого звукового поля.

Очевидно, що фаза хвиль із джерела звуку і відбитих постійна, тому вони *когерентні* і при накладенні викликають ефект *інтерференції* -

коливання в одних точках посилюється, а в інших послаблюється. [5: с.281]

Після виключення джерела звуку ефект інтерференції змінюється на ефект званий *реверберацією* звуку – процес затухання у результаті зменшення звукової інтенсивності, або еквівалентного звукового тиску (рис. 1).

Так, як видно з рисунку 1, час за який здійснюється затухання звуку (реверберація), називається *часом реверберації*.

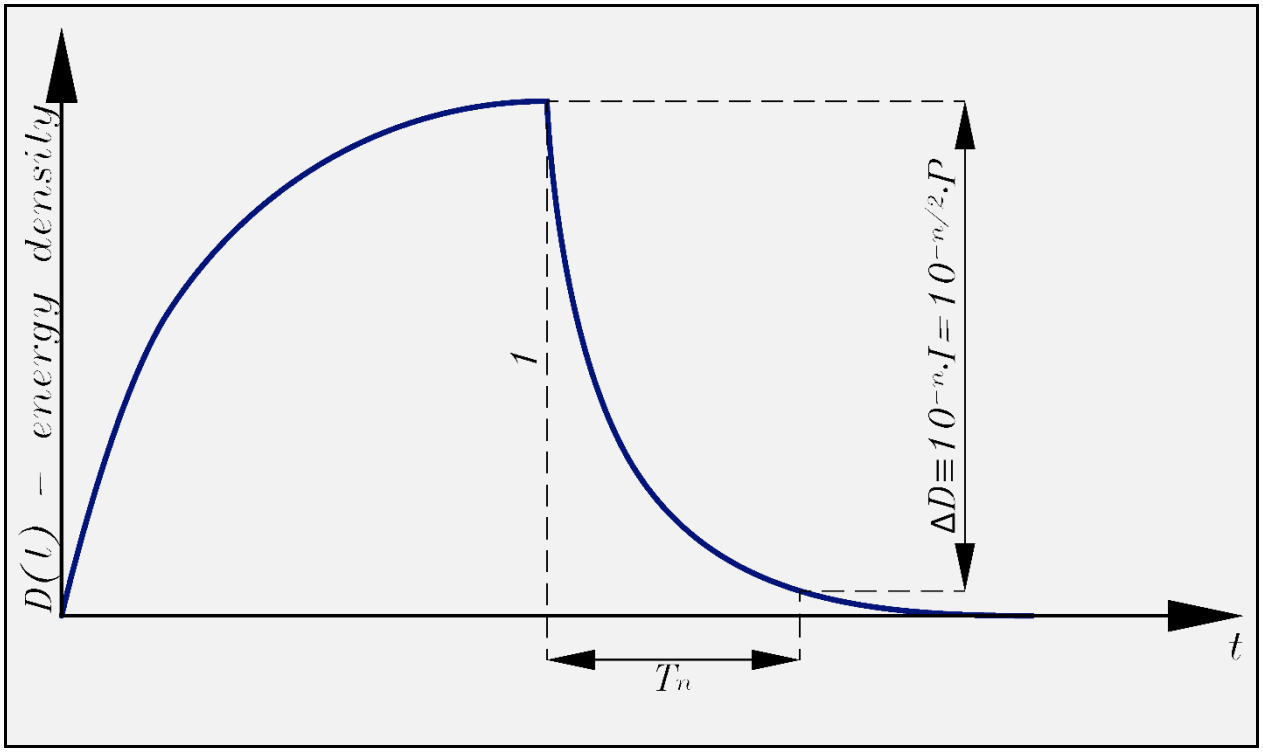

Рисунок 1 Схематичне зображення закону розподілення щільності енергії в просторі

1.2. Теоретичний розрахунок і аналіз існуючого алгоритму розрахунку часу реверберації в закритому приміщені.

Для теоретичного розрахунку пропонується кімната звукозапису (тон-зала) (рис. 2). Згідно рекомендаціям в [3] підібрані матеріали, скореговані геометричні характеристики і наведені у таблиці 1.1.

Задача: визначити час реверберації, при цьому проаналізувати

існуючий метод розрахунку, щоб запропонувати більш раціональний алгоритм та виявити його недоліки.

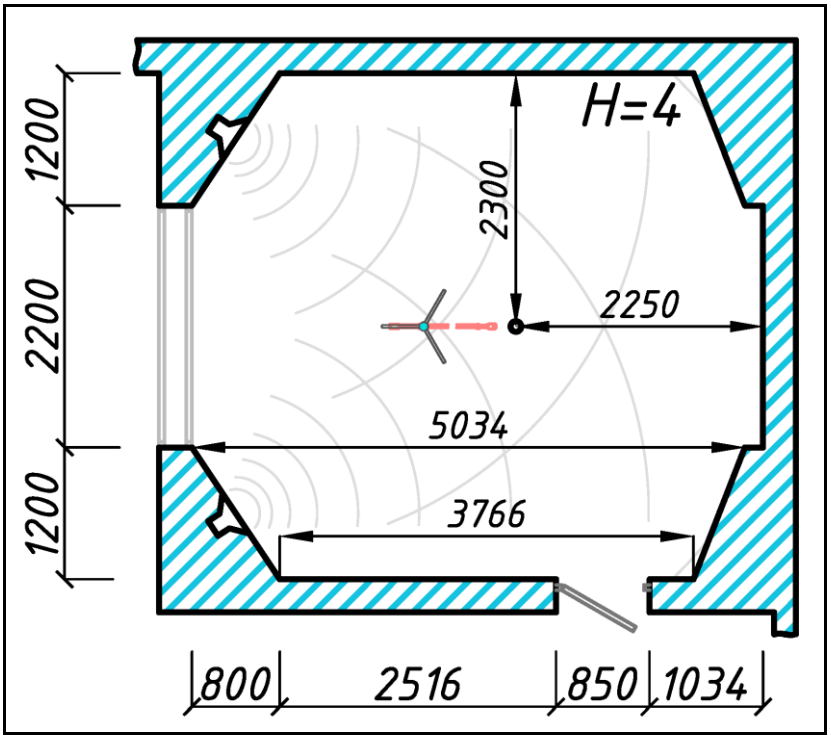

Рисунок 2 Схема кімнати звукозапису для теоретичного розрахунку часу реверберації.

Таблиця 1.1

Матеріали з наведеними коефіцієнтами звукопоглинання α та геометричні постійні характеристики даної кімнати.

№ п/п	Матеріали	Коефіцієнти звукопоглинання α, в октавних смугах з середньо-геометричними частотами [1], Гц						Геометр. х-ки	
		125	250	500	1000	2000	4000	S, m^2	V, m^3
1	Підлога: дощатий на дерев'яних лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09	22	88
2	Стіни: 4akustik / Topakustik 28 / 4-каркас 200 мм-мінерал. вата	0,15	0,45	0,85	0,85	0,6	0,45	62,95	
4	Стеля: гіпсокартон 12,5 мм / каркас	0,29	0,1	0,05	0,04	0,07	0,09	22	
5	Двері: масивні	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	1,785	
6	Вікно: скло (6-8 мм)	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	6,16	

1.3. Аналіз існуючого методу розрахунку.

Уолліс Клемент Себін у результаті фізичних дослідів (тобто експериментально) дослідив, що існує залежність часу реверберації від геометричних характеристик приміщення і вивів формулу визначення часу реверберації (1.1), яку приводять в існуючих будівельних нормах, зокрема ДБН В.1.2-10:2008 «Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму.» [3: с.14; 4: с.301-302; 8; 11; 17: с.3]

Формула Себіна–Єгеря:

$$T = \frac{k \cdot V}{A}, [c] \qquad (1.1)$$

Де k=0,162 – коефіцієнт;

V – об’єм приміщення;

A – загальна площа поверхонь із врахуванням коефіцієнту звукопоглинання.

За вимірами часу реверберації в п'яти різних приміщеннях в формі прямокутного паралелепіпеда і обсягами від 96 до 1960 м3 У. Себін прийняв значення коефіцієнта k = 0,162. При теоретичному виведення формули для розрахунку часу реверберації було отримано значення k залежне від температури приміщення. [2]

Карл Фердинанд Ейрінг декілька пізніше дослідив ефект акустичної реверберації і отримав результат більш відображаючий дійсність (1.6).

До уваги потрібно взяти той факт, що не можна змоделювати фізичну модель враховуючи усі реальні умови, тому вважається, що звукова енергія розповсюджується рівномірно, тобто умови існуючого дифузного поля ідеальні.

Так, розподіл щільності звукової енергії E(τ) визначається за експоненційним законом (1.2).

З часом настає рівноважний стан, який є постійним на протязі розповсюдження звукових хвиль, що теоретично визначається межею зростання щільності енергії в залежності від часу (1.3).

Закон спадання щільності звукової енергії ε(τ) є величиною зворотною до протилежного явища і наведений у формулі 1.4.

$$\mathrm{E}(\tau) = \frac{4P}{c_t A} \cdot \left\{1 - exp\left(-\frac{c_t S}{4V} \cdot \tau \cdot \ln\langle 1 - \bar{\alpha}\rangle\right)\right\}, [\mathrm{Вт}] \quad (1.2)$$

$$\lim_{\tau \to \infty} \mathrm{E}(\tau) = \frac{4P}{c_t A} = \mathrm{E}_\infty, [\mathrm{Вт}] \quad (1.3)$$

$$\varepsilon(\tau) = \frac{4P}{c_t A} \cdot exp\left(-\frac{c_t S}{4V} \cdot \tau \cdot \ln\langle 1 - \bar{\alpha}\rangle\right), [\mathrm{Вт}] \quad (1.4)$$

Де P – звукова потужність джерела шуму;

S – загальна площа поверхонь приміщення, м^2;

c_t – швидкість звуку за температури t°С, м/с;

$\bar{\alpha}$ – середній коефіцієнт звукопоглинання;

τ – час, с.

Оскільки спадання звукової енергії на одиницю об’єму приміщення починається в момент вимкнення звукового джерела, то для формули (1.4) стан рівноваги описаний у першому розділі звукового поля настає у момент часу рівний нулю (1.5). [4: с.301-302; 17: с.10-12]

$$\varepsilon(0) = \frac{4P}{c_t A} = \varepsilon_0 \equiv \mathrm{E}_\infty, [\mathrm{Вт}] \quad (1.5)$$

Максимальне значення звукової енергії на одиницю об’єму середи (1.3) повинно співпадати з його початковим значенням для закону спадання звукової енергії в просторі, що підтверджується формулою 1.5.

Часом реверберації визначають той час, за який рівень шуму зменшується в 10^6 раз, або падає на 60 дБ. Тоді з рівняння (1.4) легко прийти к рівнянню, яка називається формулою Ейрінга (1.6), або до його запропонованого спрощення у формулі 1.7.

Запропонований запис 1.7 є лише алгебраїчним спрощенням за

допомогою використання властивостей логарифмів. Тобто, результат обчислювань не зміниться, але використаних функцій для підрахунку буде на одну менше, що прискорює його обчислення.

Раціональність дії підтверджується і тим фактом, що у багатьох навчальних посібниках, роботах або статтях з дослідження ефекту реверберації, тощо, вираз $24\ln 10/c_t$ приводиться до постійного коефіцієнту. Оскільки мова про закрите приміщення, то комфортна температура (в залежності від вологості) за шкалою Цельсія, *t*°C, в різну пору року лежить в межах від 16°C до 25°C. За таких умов доцільно сприймають швидкість звуку рівною 340 м/с [4: с.288; 5: с.294], тоді вираз має значення близько 0,16 [с$^{-1}$]. [1: с.14; 4: с.302]

За тою умовою, що значення коефіцієнта приблизне, то можна спростити формулу 1.6 до формули 1.7 без нехтування точністю, на відміну від ф.1.8.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot 10^{-6}, [\text{Вт}] \Leftrightarrow T_{60} = \frac{24\ln\langle 10\rangle \cdot V}{-\sum_k\{c_t S_k\} \cdot \ln\langle 1-\bar{\alpha}\rangle}, [\text{с}] \qquad (1.6)$$

$$T_{60} = \frac{24 \cdot V}{-\sum_k\{c_t S_k\} \cdot \lg\langle 1-\bar{\alpha}\rangle}, [c] \qquad (1.7)$$

$$T_{60} = \frac{0{,}162 \cdot V}{-\sum S_k \cdot \ln\langle 1-\bar{\alpha}\rangle}, [\text{с}] \qquad (1.8)$$

Де $24\ln 10/c_t = k$ – коефіцієнт залежний від температури в приміщені;

V – об’єм приміщення, м^3;

S_k – площа звукопоглинаючої *k*-ої конструкцій, м^2;

$\bar{\alpha}$ – середній коефіцієнт звукопоглинання.

Формула Ейрінга (1.6) приводиться до формули Себіна-Єгеря (1.1) при невеликих значеннях коефіцієнта звукопоглинання ($\bar{\alpha} < 0{,}2$). [4: с.302]

Враховуючи, що на частотах, які перевищують 2 кГц слід врахувати, що звукова енергія поглинається в просторі із-за інертності та теплопровідності повітря. Для цього у більш загальній формулі часу

реверберації (1.9) вводять показник затухання шуму в повітрі згідно додатку 1 ГОСТ 31295.1-2005 [15] (таблиця 1.2).

Відповідно до формули 1.7 формула 1.9 спрощується до виду 1.10.

$$T_{60}^{\mu} = \frac{24\ln\langle 10\rangle \cdot V}{-\sum_k\{c_t S_k\}\cdot \ln\langle 1-\bar{\alpha}\rangle + 4\mu\cdot V}, [\text{с}] \quad (1.9)$$

$$T_{60}^{\mu} = \frac{24\cdot V}{-\sum_k\{c_t S_k\}\cdot \lg\langle 1-\bar{\alpha}\rangle + 4\mu\cdot V\cdot \lg e}, [\text{с}] \quad (1.10)$$

Де μ – коефіцієнт затухання звуку в повітрі.

Середній коефіцієнт звукопоглинання розраховують за формулою 1.11. Такий розрахунок запропонував К. Ейрінг.

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum\langle \alpha_k S_k\rangle}{\sum S_k} = \frac{\sum\langle \alpha_k S_k\rangle}{S_\Sigma} \quad (1.11)$$

Де $\bar{\alpha}$ – середній коефіцієнт звукопоглинання;

α_k – коефіцієнт звукопоглинання k-ої поверхні з урахуванням змінних та додаткових факторів;

S_k – площа k-ої поверхні;

S_Σ – сума площ звукопоглинаючих поверхонь (у т.ч. і змінні поверхні).

Таблиця 1.2

Значення показника затухання шуму в повітрі за умов постійної температури і середнього значення вологості в повітрі на протязі року.

		Коефіцієнт затухання μ, в октавних смугах з середньо-геометричними частотами, Гц					
№ п/п	Умови	125	250	500	1000	2000	4000
1	φ = 45 %, t = 21°С	**48,3**	**1,36**	*2,68*	*4,66*	**10,53**	**32,75**

1.4. Результати досліджень

Із раціональних міркувань подальші розрахунки опускаються, а їх результати наведені у таблицях 1.3, 1.4.

Таблиця 1.3

Значення окремих членів суми у чисельнику середнього коефіцієнта звукопоглинання.

№ п/п	Фактори (умови)	Значення окремих членів чисельника середнього к.з.п., $\alpha_k S_k n$, на частоті, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	Підлога (дощатий)	*2,2*			*1,76*		*1,98*
2	Стіни	*9,44*	*28,33*	*53,51*		*37,77*	*28,33*
3	Стеля (гіпсокартон)	*6,38*	*2,2*	*1,1*	*0,88*	*1,54*	*1,98*
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
4	Двері (масив, $n = 1$)	*0,25*	*0,18*	*0,11*	*0,14*	*0,18*	
5	Вікно (скло, $n = 1$)	*1,11*	*0,37*	*0,25*	*0,19*	*0,12*	
6	Слухачі ($S_p = 1{,}794$, $n = 1$)	*0,59*	*0,74*	*0,79*	*0,83*		
	$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_k S_k}{S} =$	**0,17**	**0,29**	**0,49**	**0,49**	**0,36**	**0,29**

За даних умов формули 1.7, 1.10 зведені до запису в одну строку при обрахуванні постійних параметрів заданих умовами. (1.12, 1.13)

$$[T_{60}]^{-1} = -18{,}87 \cdot \lg(1 - \bar{\alpha}), [\text{с}]; \quad (1.12)$$

$$\left[T_{60}^{\mu}\right]^{-1} = -18{,}87 \cdot \lg(1 - \bar{\alpha}) + 352 \cdot \mu \cdot \lg e, [\text{с}] \quad (1.13)$$

Таблиця 1.4

Визначення теоретичного часу реверберації.

№ п/п	Конфігурація	Час реверберації шуму, с, в октавних смугах з середньо-геометричними частотами, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	T_{60}	*0,7*	*0,4*	**0,2**	**0,2**	*0,3*	*0,4*
2	T_{60}^{μ}	**0,2**	**0,35**	*0,2*	*0,2*	**0,25**	**0,2**

Усі значення розрахункового часу реверберації обчислені з точністю до 0,05 секунд, що відповідає приблизному часу встановлення відміни звуків після їх сприйняття, але ще до усвідомлення і осмислення.

Згідно [19: с.6] рекомендований час реверберації в умовах прослуховування і запису лежить в межах від 0,2 до 0,4 секунд.

Як видно з наведених результатів у таблиці 1.4 середні моди середньо-геометричних частот (500, 1000 Гц) показують однакові результати для розрахунку з урахуванням поглинання шуму повітрям і без, що приводить до висновку, що людське вухо адаптоване до найліпшої чутності, бо саме октавні смуги з середньо-геометричними частотами в межах 62,5 – 2000 Гц є найбільш чутними. Крім того, це є підтвердженням, що у досліджуваних досі і утворених на сьогодні фізичних залежностях для підрахунку часу реверберації можна нехтувати коефіцієнтом затухання звуку в повітрі на цих частотах, тому що, як видно, при округленні їх значень реверберації вони будуть співпадати.

1.5. Висновки до розділу 1.

Згідно [19: с.6] рекомендований час реверберації в умовах прослуховування і запису лежить в межах від 0,2 до 0,4 секунд.

Зокрема, в результаті дослідження акустики приміщень запропонований спрощений запис формул розрахунку часу реверберації – формули 1.7, 1.10 без врахування поглинання звуку середи розповсюдження звукової хвилі і із врахуванням відповідно.

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЧАСУ РЕВЕРБЕРАЦІЇ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ШУМУ В ПРИМІЩЕННЯХ АДМІНІСТРАТИВНИХ КОРПУСІВ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

2.1. Аналіз існуючої в Україні системи санітарного нормування допустимого шуму в приміщеннях громадських будівель.

Допустимі рівні шуму в адміністративному корпусі, прилеглого до цеху з виробництва збірного залізобетону, визначені з урахуванням нижченаведеного.

1. Відповідно до п.2.1 [13], на слух і за характером виміряних рівнів шуму в октавних смугах частот, а також по перевищенню рівня звукового тиску в одній смузі над сусідніми, яке істотно менше 10 дБ, шум, створюваний досліджуваними джерелами слід віднести до широкосмугового.

2. Як показало обстеження, технологічні та функціональні процеси, що проходять в приміщеннях 1-го поверху адміністративної будівлі, обладнаних системою витяжної вентиляції, обумовлюють необхідність періодичного її включення і виключення, що відповідно створює і прибирає шум в приміщеннях к.106. При цьому зміни звуку в часі носять виражений ступінчастий характер, з перепадами рівнів звуку перевищують 5 дБА, (див. Протокол № 1), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень звуку залишається постійним, становить набагато більше 1 секунди. Відповідно до п.2.1 [13], такий шум слід віднести до непостійного, непостійного, що не імпульсний.

3. Відповідно до п.2.4 [13] і п.3.1.4 ДСН 3.3.6.037-99 [6] параметрами непостійного шуму (який коливається в часі та переривається) на робочих місцях, є інтегральні еквівалентні (по енергії) і максимальні рівні шуму в дБА. У табл. 2 ДСН [6] наведено перелік трудової діяльності із

зазначенням допустимих еквівалентних рівнів звуку на робочих місцях, яким слід керуватися при виборі норми допустимого шуму (дивись табл. 2.1 нижче за текстом).

4. Відповідно до п.5.4. ДСН [6] допустимий максимальний рівень звуку на всіх робочих місцях не повинен перевищувати 110 дБА.

5. Для розробки шумозахисних заходів і складання прогнозу їх акустичної ефективності необхідні виміряні або розраховані значення рівнів звукового тиску в октавних смугах частот на робочих місцях у приміщеннях. Нормовані параметри рівнів звукового тиску в октавних смугах частот слід приймати відповідно до п.п. 2 або 3 табл. 2 ДСН [6].

6. Щодо вибору допустимої норми по рівню звуку необхідно провести аналіз видів трудової діяльності для робочих місць в приміщеннях будівлі адміністративного корпусу.

Таблиця 2.1

Призначеність приміщення або території, час доби	Рівні звукового тиску L (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{екв}$) в дБ в октавних смугах із середньо-геометричними частотами в Гц									Рівні звуку L_A і еквівалентні рівні звуку $L_{Aекв}$ в дБА	Максимальні рівні звуку $L_{A\ макс}$ в дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Робочі приміщення адміністративно-керівного персоналу підприємств, цехів, контор, лабораторій, приміщень для висококваліфікованих спеціалістів, де робота вимагає зосередженості, приміщення для проведення вимірювальних і аналітичних робіт.	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	–

7. Відповідно до п.3 Примітки 1 до табл. 1 [12], рівні звукового тиску в октавних смугах частот в дБ, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в дБА для шуму, створюваного в приміщеннях і на територіях системами вентиляції, слід приймати на 5 дБА нижче, зазначених в таблиці 1, якщо останні не перевищують зазначених в таблиці 1 значень (поправку для тонального та імпульсного шуму по табл. 2 в цьому випадку застосовувати не слід).

З урахуванням всього вище викладеного, відповідно до табл.2.2, а також положень діючих Санітарних Норм, (п. 7), де дослівно цитуються відповідні їх тексти, як нормативно допустимих слід вважати нижченаведені значення: допустимі рівні шуму для приміщень громадських, або адміністративних будівель виробничих підприємств, представлені нижче в табл. 2.2:

Таблиця 2.2

Середньо-геометрична частота октавної смуги, Гц								
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_A, дБА
74	65	58	53	50	47	45	44	55

Надалі ми проведемо наукові дослідження по можливостям зменшення шумового навантаження в приміщенні, в якому фоновий шум під час робочого процесу не перевищує нормативних показників, а завдяки розміщення біля таких приміщень гучних джерел шуму, або дуже шумних виробничих об’єктів (цехів по виробництву залізобетонних конструкцій, компресорних, дробильних цехів підприємств будівельної галузі). Як показує практика майже всі адміністративно-побутові будівлі підприємств будівельної галузі (заводи по виробництву збірного залізобетону, по виробництву будівельних матеріалів і т.і.) потрапляють від шуму який передається з суміжних приміщень з шумним робітничим процесом.

Рівні шуму в приміщеннях адміністративного корпусу, прилеглого

до цеху з виробництва збірного залізобетону, взято з наукового звіту кафедри. В цьому звіті за мету роботи ставилося зменшення шуму в приміщеннях адміністративного корпусу за рахунок зменшення шуму в джерелі його утворення і на шляху розповсюдження. Нами в дійсній науковій роботі поставлено мету: зменшення шуму в приміщеннях адміністративного корпусу за рахунок використання звукопоглинальних матеріалів. Тобто зменшення шуму в об'єкті захисту.

2.2. Оцінка нормативно допустимих рівнів звуку на робочих місцях в обстежуваному приміщенні.

Таблиця 2.3

№ п/п	Розрахункова величина	Посилання	Середньо-геометрична частота октавної смуги, Гц								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LA, дБА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Норма	Табл. 2.2	74	65	58	53	50	47	45	44	55
2	Кабінет 106	Умови шуму 1	48,8	47,8	47,5	36,4	36,7	30,7	30,0	31,9	42,0
3	Кабінет 106	Умови шуму 2	56,0	59,4	62,4	55,2	58,4	50,4	39,8	34,7	60,3
4	Перевищення норми для умови 1	п.1 - п.2	25,2	17,2	10,5	16,6	13,3	16,3	15,0	12,1	13,0
5	Перевищення норми для умови 2	п.1 - п.3	18,0	5,6	**-4,4**	**-2,2**	**-8,4**	**-3,4**	5,2	9,3	**-5,3**

Примітки до таблиці 2.3: 1. Умови шумового режиму приміщення 1: шум фоновий в приміщенні під час робочого процесу; 2. Умови шумового режиму приміщення 2: шум, який передається з суміжного приміщення з шумним робітничим процесом.

З даних, представлених в табл. 2.3 видно, що за результатами проведених натурних інструментальних вимірювань, на робочих місцях в обстежених офісних приміщеннях (кабінет 106) спостерігається перевищення норми допустимого рівня звукового тиску тільки від шуму, який

розповсюджується з суміжного приміщення. Таке перевищення становить **2.2-8.4 дБ** в октавних смугах з середньо геометричними частотами 250–1000 Гц. Перевищення норми допустимого корегованого за шкалою «А» рівня звуку, становить **5.3 дБА.**

Як було нами зазначено вище, основним параметром, що визначає якість акустичного середовища в приміщенні, є час реверберації, яке характеризує його «гучність» і дає можливість найкращим чином суб'єктивно сприймати музичні та мовні програми, відтворювані в приміщенні. Розрахунок рекомендованого часу реверберації, запропонований нами в розділі 1, для невеликих приміщень об'ємом менше 100 $м^3$ буде використано нижче. Завданням цього розрахунку ставиться кількісне визначення необхідних площ оздоблювальних матеріалів приміщення для забезпечення оптимальних значень часу реверберації в діапазоні нормованих звукових частот (125, 500 і 2000 Гц). Для визначення оптимального часу реверберації застосована спеціальна програма для ПЕОМ, що дозволяє проводити покроковий його (часу реверберації) розрахунок з подальшим перебором всіх можливих поєднань звукопоглинальних поверхонь внутрішнього оздоблення в інтер'єрі приміщення. Підсумком такого перебору є шуканий (оптимальний) варіант поєднання рекомендованих (по номенклатурі і площами) оздоблювальних матеріалів.

2.3. Вихідні дані.

Для розрахунку необхідні наступні вихідні дані для окремих поверхонь із зазначенням площі застосовуваних матеріалів оздоблення інтер'єру приміщення; загальна площа огороджувальних конструкцій приміщення; обсяг приміщення.

Стеля: – акустичні плити за варіантами:

варіант 1 – Fine Fissured (δ= 15 мм);

варіант 2 – Dune Max (δ= 18 мм);

варіант 3 – Ecophon OPTA (δ= 12 мм).

За бажанням замовника на вікна можуть бути повішені штори з щільної тканини масою не менше 0,5 кг на 1 м^2.

Загальна площа огороджувальних поверхонь кімнати адміністративно-керівного персоналу підприємства: $S_{заг}$ = 90,1 м^2

Розрахунок проведено з застосуванням наступних співвідношень:

$$A_{const} = \sum A_i = \sum \alpha_i \cdot S_i \qquad (2.1)$$

Де A_{const} – постійна площа звукопоглинання для розрахункової частоти, м^2;

α_i – коефіцієнт звукопоглинання і-тої поверхні для розрахункової частоти;

S_i – площа окремої і- тої площі звукопоглинання, м^2.

Розрахунок часу реверберації необхідно вести для частот 125, 500 та 2000 Гц.

Додаткове звукопоглинання створюється за рахунок погашення звукових хвиль в щілини, отворі, обладнанням і т.і. ($A_{дод.}$)

$$A_{дод.} = \alpha_{дод.} \cdot S_{заг.} \qquad (2.2)$$

Де $\alpha_{дод.}$ – додатковий коефіцієнт звукопоглинання, який в середньому прийнятий рівним 0,09 на частоті 125 Гц і 0,05 - на частотах 500 і 2000 Гц;

$S_{заг.}$ – загальна площа внутрішніх поверхонь адмінприміщення, м^2.

Аналогічно, по співвідношенню (2.2) розраховуються еквівалентні площі звукопоглинання (A_i) поверхонь з різними коефіцієнтами звукопоглинання (α_i), що мають свої площі поверхонь (S_i).

$$A_i = \alpha_i \cdot S_i \qquad (2.2а)$$

Загальна фактична площа звукопоглинання в кімнаті адміністративно-керівного персоналу підприємства складає:

$$A^{\text{ф.}} = A_{const} + A_{\text{змінна}} + A_{\text{додаткова}} \quad (2.3)$$

Після визначення $A^{\text{ф.}}$ розраховано середній коефіцієнт звукопоглинання, $\bar{\alpha}_{\text{ф.}}$, в кімнаті адміністративно-керівного персоналу підприємства (2.4).

$$\bar{\alpha} = \frac{A^{\text{ф.}}}{S_{\text{заг.}}} \quad (2.4)$$

Далі розраховано час реверберації, $T_{\text{ф.}}$, за формулою К. Ейрінга (2.5), як фактичний.

$$T_{\text{ф.}} = \frac{k \cdot V}{-S_{\text{заг.}} \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (2.5)$$

Де: k – коефіцієнт, що визначається з вираження 2.6.

$$k = {24 \ln 10}/{c_t} \quad (2.6)$$

Рекомендований час реверберації, $T_{\text{р}}$, для студійних приміщень об'ємом менше 100 м^3 розраховане по співвідношенню 2.7.

$$T_{\text{р}} = T_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}} \quad (2.7)$$

Де: V_0 – приміщення об’ємом 100 м^3;

S – площа поверхні (на 1 поверсі, S = 90,1 м^2);

B - постійна приміщення, м^2. Визначаємо з співвідношення (2.8):

$$B = B_{1000} \cdot \mu \quad (2.8)$$

$$B_{1000} = \frac{V}{6} = \frac{902{,}2 \text{ м}^3}{6} \cong 150{,}4 \text{ м}^2 \quad (2.8а)$$

Де: B_{1000} - постійна приміщення на чистоті 1000 Гц, визначається по табл.2 [12], як для робочих приміщень будівель управлінь, залів конструкторських бюро і т.ін. і розраховано в 2.7а;

μ - постійна приміщення на чистоті 1000 Гц, визначається по табл.2 [12], як для робочих приміщень будівель управлінь, залів конструкторських бюро і

т.і. табл. 3 [12];

2.4. Розрахунок акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання із стельових панелей Fine Fissured (δ = 15 мм). (варіант 1)

Таблиця 2.4

№ п/п	Величина	Середньо-геометрична частота октавної смуги , Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$B_{1000} = V/6$	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37
2	μ_u	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3,0	6,0
3	B	75,19	75,19	82,70	105,26	150,37	240,59	451,11	902,22
4	до облицювання $\alpha_{ср}$	0,08	0,08	0,08	0,10	0,14	0,21	0,33	0,50
5	A	69,49	69,49	75,87	94,43	129,20	190,61	302,42	454,90
6	$\alpha_{обл}$	0,20	0,37	0,24	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09
7	$S_{обл}$	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
8	ΔA	69,40	128,39	83,28	31,23	27,76	31,23	31,23	31,23
9	A_1	86,36	123,04	98,96	78,13	97,59	137,94	207,46	302,27
10	після облицювання $\alpha_{ср}{}^1$	0,15	0,22	0,17	0,14	0,17	0,24	0,36	0,53
11	B_1	183,55	320,57	220,48	126,72	151,22	223,12	375,10	709,34
12	$10\lg(B_1/B)$	3,88	6,30	4,26	0,81	0,02	-0,33	-0,80	-1,04

2.5. Розрахунок акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання із стельових панелей Dune Max (δ = 18 мм) (варіант 2)

Таблиця 2.5

№ п/п	Величина	Середньо-геометрична частота октавної смуги , Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$B_{1000} = V/6$	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37
2	μ_u	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3,0	6,0
3	B	75,19	75,19	82,70	105,26	150,37	240,59	451,11	902,22
4	до облицювання $\alpha_{ср}$	0,08	0,08	0,08	0,10	0,14	0,21	0,33	0,50
5	A	69,49	69,49	75,87	94,43	129,20	190,61	302,42	454,90
6	$\alpha_{обл}$	0,20	0,47	0,47	0,49	0,68	0,94	0,98	0,86
7	$S_{обл}$	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
8	ΔA	69,40	163,09	163,09	170,03	235,96	326,18	340,06	298,42
9	A_1	86,36	144,62	148,58	164,44	227,05	321,34	399,49	468,41
10	після облицювання $\alpha_{ср}^{1}$	0,15	0,25	0,26	0,29	0,40	0,56	0,70	0,82
11	B_1	183,55	412,20	421,43	469,91	769,11	1482,6	2467,2	4285,3
12	$10lg(B_1/B)$	3,88	7,39	7,07	6,50	7,09	7,90	7,38	6,77

2.6. Розрахунок акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання із стельових панелей Ecophon OPTA (δ = 12 мм). (варіант 3)

Таблиця 2.6

№ п/п	Величина	Середньо-геометрична частота октавної смуги , Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$B_{1000} = V/6$	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37	150,37
2	μ_u	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3,0	6,0
3	B	75,19	75,19	82,70	105,26	150,37	240,59	451,11	902,22
4	до облицювання $\alpha_{ср}$	0,08	0,08	0,08	0,10	0,14	0,21	0,33	0,50
5	A	69,49	69,49	75,87	94,43	129,20	190,61	302,42	454,90
6	$\alpha_{обл}$	0,20	0,40	0,80	1,00	0,80	0,92	0,93	0,90
7	$S_{обл}$	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
8	ΔA	69,40	138,80	277,60	347,00	277,60	319,24	322,71	312,30
9	A_1	86,36	129,51	219,78	274,48	252,95	317,02	388,70	477,04
10	після облицювання $\alpha_{ср}^1$	0,15	0,23	0,39	0,48	0,44	0,56	0,68	0,84
11	B_1	183,55	347,12	809,08	1197,7	953,15	1432,0	2232,5	4818,4
12	$10lg(B_1/B)$	3,88	6,64	9,90	10,56	8,02	7,75	6,95	7,28

2.7 Обговорення результатів розрахунків акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання за варіантами

З даних, представлених в табл. 2.3 нами встановлено, що на робочих місцях в кабінеті 106 спостерігається перевищення норми допустимого рівня звукового тиску тільки від шуму, який розповсюджується з суміжного приміщення. Таке перевищення становить **2.2-8.4 дБ** в октавних смугах з середньо геометричними частотами 250–1000 Гц. Розрахунки акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання за варіантами і дотримання норми, які наведені в табл.. 2.7 дають можливість нам зробити наступні висновки:

1. Варіант 1 з плитами Fine Fissured не забезпечує норму по шуму на частотах 250-2000 Гц від 0,14 дБ до 8,38 дБ.

2. Варіанти 2 та 3 з плитами Dune Max та Ecophon OPTA не забезпечують норму по шуму тільки на частоті 1000 Гц. Перевищення складає 1,31 дБ та 0,38 дБ відповідно.

3. Враховуючі незначне перевищення (допускається до 3 дБ перевищення) норми припустимого шуму на робочих місцях в кабінеті 106 ми рекомендуємо використовувати замовником Варіанти 2 або 3 з плитами Dune Max або Ecophon OPTA. Економічні розрахунки облицювання не є нашим завданням. Тому, враховуючи вище згадане, кінцева ціль нашого дослідження виконана.

Таблиця 2.7

Акустична ефективність звукопоглинаючого облицювання за варіантами і дотримання норми

№ п/п	Варіант	Акустична ефективність звукопоглинаючого облицювання за варіантами /ередньо-геометрична частота октавної смуги , Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Fine Fissured (варіант 1)	3,88	6,30	4,26	0,81	0,02	-0,33	-0,80	-1,04
2	Dune Max (варіант 2)	3,88	7,39	7,07	6,50	7,09	7,90	7,38	6,77
3	Ecophon OPTA (варіант 2)	3,88	6,64	9,90	10,56	8,02	7,75	6,95	7,28
4	Перевищення норми для умови 2	18,0	5,6	**-4,4**	**-2,2**	**-8,4**	**-3,4**	5,2	9,3
Дотримання норми									
5	Fine Fissured (варіант 1)	21,88	11,9	**-0,14**	**-1,39**	**-8,38**	**-3,73**	4,4	8,26
6	Dune Max (варіант 2)	21,88	12,99	2,67	4,3	**-1,31**	4,5	12,58	16,07
7	Ecophon OPTA (варіант 2)	21,88	12,24	5,5	8,36	**-0,38**	4,35	12,15	16,58

Висновки

Авторами зроблено удосконалення методики кількісного визначення необхідних площ оздоблювальних матеріалів внутрішніх огороджувальних конструкцій приміщення для зменшення шуму в приміщенні з джерелами шуму (і суміжних з ними) в діапазоні нормованих звукових частот в умовах виробничого середовища. Це стало можливим за результатами запропонованого спрощеного запису формул розрахунку часу реверберації – формули 1.7, 1.10 без врахування поглинання звуку середи розповсюдження звукової хвилі і із врахуванням відповідно.

В якості практичної впровадження розробленої методики зменшення шуму в об’єкті захисту на робочих місцях в кабінеті 106 (за рахунок спрощення формул розрахунку) спостерігається перевищення норми допустимого рівня звукового тиску тільки від шуму, який розповсюджується з суміжного приміщення. Таке перевищення становить **2.2-8.4 дБ** в октавних смугах з середньо геометричними частотами 250–1000 Гц. Розрахунки акустичної ефективності звукопоглинаючого облицювання за варіантами і дотримання норми, які наведені в табл.. 2.7 дають можливість нам зробити наступні висновки:

1. Варіант 1 з плитами Fine Fissured не забезпечує норму по шуму на частотах 250-2000 Гц від 0,14 дБ до 8,38 дБ.

2. Варіанти 2 та 3 з плитами Dune Max та Ecophon OPTA не забезпечують норму по шуму тільки на частоті 1000 Гц. Перевищення складає 1,31 дБ та 0,38 дБ відповідно.

3. Враховуючі незначне перевищення (допускається до 3 дБ перевищення) норми припустимого шуму на робочих місцях в кабінеті 106 ми рекомендуємо використовувати замовником Варіанти 2 або 3 з плитами Dune Max або Ecophon OPTA.

За результатами нашої наукової роботи опубліковано тези на 5th International scientific and practical conference. 29-31 jan. Osaka, Japan. 2020.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ананьев А. Б. Математика для звукорежиссёров. Выпуск 4. Учебное пособие. Киев : КНУКиИ, 2015. 55с.

2. Ефимов А. П. Три взгляда на акустику помещений. *Install-Pro*. Выпуск 5. С. 44-49.

3. Кравченко А. Планировка студийных помещений и звукоизоляция. *Install-Pro*. Выпуск 26. С. 70-85.

4. Архитектурная физика: Учеб. для вузов: Спец. "Архитектура". / под ред. Н. В. Оболенского. Москва : "Архитектура-С", 2007. 448 с.

5. Савельев И. В. Курс общей физики. Том 1. Москва : Издательство «Наука», 1970. 352 с.

6. Руководство по расчёту и проектированию шумоглушения в промышленных зданиях. / НИИСФ Госстроя СССР Москва : Стройиздат, 1982. 128 с.

7. Руководство по расчету и проектированию звукоизоляции ограждающих конструкций зданий / НИИСФ Госстроя СССР Москва : Стройиздат, 1983. 64 с.

8. *Проектное бюро ACOUSTIC PROJECT* : веб-сайт. URL: http://www.akustik.ua (дата звернення: 27.11.2019).

9. Анализ шумозащитных свойств составных конструкций из листовых материалов. / Саньков П. Н. и др. *Технологический аудит и резервы производства.* 2016. №20. С. 24-28.

10. Решение Европейского парламента и Совета № 1600/2002/ЕС от 22.07.2002 относительно Шестой программы действий сотрудничества в сфере ОС. *Official Journal.*

11. ДБН В.1.2-10:2008. Основні вимоги будівель і споруд захисту від шуму. [Чинний від 2008-10-01]. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2008. 10 с.

12. СН 3077-84. Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой

застройки. [Чинний від 1984-08-03]. Москва : Минздрав СССР, 1984. 24 с.

13. № 4283-87. Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы по контролю за выполнением «Санитарных норм допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки» № 3077-84. [Чинний від 1987-05-04]. Москва : Минздрав СССР, 1987. 19 с.

14. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : Наказ №173 від 19 червня 1996 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96 (дата звернення: 05.02.2020)

15. ГОСТ 31295.1-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчёт поглощения звука атмосферой. [Чинний від 2005-12-09]. Москва : Стандартинформ, 2006. 40 с.

16. СНиП II-12-77. Защита от шума. [Чинний від 1977-06-14]. Москва : Стройиздат, 1978. 48 с.

17. Fjærli, Asta Rønning Room Geometries with non-classical. Trondheim : Norwegian University of Science and Technology, 2015. с. 105.

18. Residential environmental and ecological safety of person. / Sankov P. та ін. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2017. №4. С. 278-281.

19. EBU Tech. 3276. Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two–channel stereophonic. Geneva : Switzerland. 1998. 2nd edition. 19 p.

20. Тарасов А. І., Ждамірова Ю. М. та інші Особливі екологічні аспекти при проектуванні приміщень за фактором шуму // Perspectives of world science and education. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2020. Pp. 726-733. URL: http://sci-conf.com.ua.