

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ.Ю.М. ПОТЕБНІ**

кафедра прикладної екології та охорони праці

Кваліфікаційна робота

бакалавра

на тему Дослідження ефективності роботи глушників для зниження рівня аеродинамічного шуму

Виконав: студентка 5 курсу, групи ЦБ-176з

Спеціальності 263 Цивільна безпека

освітньої програми Охорона праці

спеціалізації

О. М. Курських

Керівник доцент, к.т.н. Манідіна Є.А.

Рецензент професор, доц., д.т.н. Куріс Ю.В.

м. Запоріжжя
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ.Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра прикладної екології та охорони праці

Рівень вищої освіти перший (бакалавр)

Спеціальність 263 Цивільна безпека

Освітня програма Охорона праці

Спеціалізація _____

(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«12» травня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ

Курських Оксани Миколаївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження ефективності роботи глушників для зниження рівня аеродинамічного шуму

керівник роботи Манідіна Євгенія Анатоліївна, к.т.н.

(затверджені наказом вищого навчального закладу від

«___» _____ 20__ року № _____

2 Строк подання студентом роботи _____ 13.05.2022 р.

3 Вихідні дані до роботи джерело шуму – відцентровий нагнітач 8500-11-1, глушник резонансного та активного типів, частота від 63 до 8000 Гц.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вплив підвищеного рівня шуму на організм людини, класифікація глушників, принципи їх роботи, обґрунтування вибору конструкції глушника для зниження аеродинамічного шуму, методика проведення дослідження ефективності роботи глушника, експериментальне дослідження ефективності глушників

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження; аналіз профзахворювань; основні конструкції глушників; обґрунтування конструкції

глушника; конструкція глушника, що досліджується; результати експериментальних досліджень, висновки

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Манідіна Є.А., доцент	04.04.2022	21.04.2022
2	Манідіна Є.А., доцент	12.04.2022	25.04.2022
3	Манідіна Є.А., доцент	25.04.2022	13.05.2022

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичний дослідження способів зниження аеродинамічного шуму	04.04.- 21.04.2022	виконано
2	Методика проведення дослідження ефективності роботи глушника	12.04.- 25.04.2022	виконано
3	Експериментальне дослідження ефективності глушників	25.04.- 13.05.2022	виконано

Студент _____
(підпис)

О.М. Курських

Керівник роботи _____
(підпис)

Є.А. Манідіна

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____
(підпис)

К.В. Белоконь

АНОТАЦІЯ

Курських О.М. Дослідження ефективності роботи глушників для зниження рівня аеродинамічного шуму

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 263 Цивільна безпека освітньо-професійної програми Охорона праці, науковий керівник Є.А. Манідіна. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. М.Ю. Потебні, кафедра прикладної екології та охорони праці, 2022.

Проаналізовано рівень професійних захворювань в Україні та в світі за період 2019-2021 р.р. Надана класифікація аеродинамічного шуму. Наведені основні методи боротьби з підвищеним рівнем шуму в системі повітроводів. Обґрунтовано вибір конструкції глушника для зниження аеродинамічного шуму. Проведено експериментальне дослідження ефективності запроєктованого глушника.

Ключові слова: професійні захворювання, аеродинамічний шум, глушник, частота, рівень шуму

ABSTRACT

Kurskykh O.M. Study of the Effectiveness of Mufflers to Reduce Aerodynamic Noise

Qualification work for a bachelor's degree in specialty 263 Civil Security educational and professional program Labor protection, supervisor Ye.A. Manidina. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after M.Yu. Potebny, Department of Applied Ecology and Labor Protection, 2022.

The level of occupational diseases in Ukraine and in the world for the period 2019-2021 is analyzed. The classification of aerodynamic noise is given. The main methods of combating high noise in the air duct system are presented. The choice of

muffler design to reduce aerodynamic noise is justified. An experimental study of the effectiveness of the designed muffler.

Key words: occupational diseases, aerodynamic noise, muffler, frequency, noise level

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ	5
1.1 Вплив підвищеного рівня шуму на організм людини	5
1.2 Класифікація аеродинамічного шуму	11
1.3 Зниження шуму екрануванням	15
1.4 Класифікація глушників. Принципи їх роботи	16
1.5 Обґрунтування вибору конструкції глушника для зниження аеродинамічного шуму	31
2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГЛУШНИКА.....	39
2.1 Методика визначення ефективності глушників аеродинамічного шуму	39
2.2 Математична обробка результатів дослідження ефективності глушника	41
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛУШНИКІВ.....	44
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	55

ВСТУП

Робота технологічного обладнання на підприємствах металургійної, хімічної, машинобудівної промисловості супроводжується виникненням шуму різної частоти та інтенсивності. Підвищений рівень шуму викликає не тільки занепокоєння, його вплив на людей багатогранний. Шум може завдати шкоди здоров'ю працівника та знизити його працездатність. Шум може стати причиною нещасних випадків на роботі, транспорті та інших умовах. Основними джерелами шуму при роботі виробничих підприємств є повітро- та газопроводи, тягове обладнання, газорозподільні станції тощо. Як ми всі знаємо, послаблення шуму повітропроводів досягається за рахунок плавного потоку повітря, плавних переходів, коли напрямок каналу змінюється, і використання глушників. Глушники використовують ефект поглинання та відображення, а також вплив на джерело звуку, і бувають різних дизайнів. Загальновідомо, що максимальне зниження шуму глушника відбувається у вузькому діапазоні частот. За результатами теоретичного аналізу було встановлено, що розробка конструкції глушника для зниження рівня шуму у діапазоні частот 63-8000 Гц є актуальною проблематикою.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка конструкції глушника, який зменшував рівень аеродинамічного шуму до допустимого значення у діапазоні частот 63-8000 Гц.

Для досягнення поставленої мети кваліфікаційної роботи є потреба в вирішенні наступних **завдань**: встановити параметри, які впливають на акустичні й аеродинамічні характеристики глушників; дослідити ефективність глушника, запроектованого в роботі, в різних діапазонах частот.

Об'єкт дослідження – глушники аеродинамічного шуму.

Предмет дослідження – акустична ефективність глушника шуму.

Методи дослідження. Виконання експериментальної частини дослідження в науковій роботі засноване на експериментальному методі підтвердження теоретичних результатів та порівняння їх з нормативними значеннями рівня шуму на різних частотах. Статистична обробка результатів проводилась з використанням комп'ютеризованої програми Microsoft Excel.

1 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ

1.1 Вплив підвищеного рівня шуму на організм людини

За даними Фонду соціального страхування України за дев'ять місяців 2021 року робочими органами правління Фонду зареєстровано 2192 повідомлення про хронічні професійні захворювання/отруєння. Порівняно з аналогічним періодом 2020 року кількість повідомлень про хронічні професійні захворювання зросла на 40,1% (з 1565 до 2192) [1].

За 9 місяців 2021 року порівняно з 9 місяцями 2020 року кількість професійних захворювань за формою П-4 зросла на 44,5 %, або на 670 захворювань (з 1506 до 2176 випадків). Найбільшу кількість таких випадків спостерігали у таких підприємствах: ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» - 627 (Дніпропетровська область), ПАТ «Шахтоуправління «Покровське» - 134 (Донецька область), ПАТ Шахта «Надія» - 85 (Львівська область), ДП «Лісова шахта» ДП «Львіввугілля» - 81 (Львівська обл.), ДП «Шахта» Відродження «ДП «Львіввугілля» та ДП Шахта «Межирічанська», ДП «Львіввугілля» - по 75 (Львівська область). Основними обставинами, внаслідок яких виникли професійні захворювання є (рис.1.1): недосконалість технологічного процесу – 28,4 %, невикористання засобів індивідуального захисту – 15,7 % та неефективність роботи захисних засобів і механізмів – 9,6 % від їх загальної кількості [1].

Всього в Україні за 9 місяців 2021 року виявлено професійні захворювання – 5493 діагнози. У структурі професійних захворювань перше місце займають захворювання органів дихання – на них припадає 42% (2305 випадків) від загальної кількості підтверджених випадків в Україні. Друге місце – захворювання опорно-рухового апарату (радикулопатії, остеохондроз, артрит, артроз) – 28,4% (1558 випадків). На третьому місці розлади слуху – 22,9% (1260 випадків), а на четвертому – вібраційні розлади – 4,5% (245 випадків). Найбільше професійних захворювань припадає на добувну

промисловість – на них припадає 89,5% від загального числа професійних захворювань в Україні (1948), що на 56,1% (700) більше, ніж за 9 місяців 2020 року (рис. 1.2).

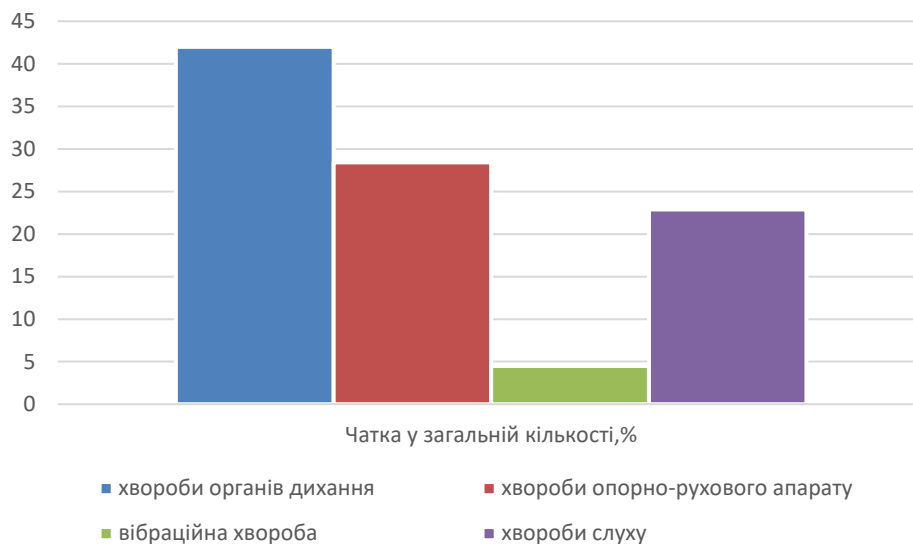


Рисунок 1.1 – Розподіл професійних захворювань

На рисунку 1.3 показано розподіл кількості професійних захворювань у різних регіонах України. на рис. 1.4. Розподіл професійних захворювань у країнах-членах МОП за хімічними, фізичними та біологічними факторами (2019).

Відомо, що підвищення рівня шуму призводить не тільки до патологічного стану органів слуху та їх стомлення, а й до зниження працездатності, підвищення ризику професійних захворювань, погіршення фізичного стану. Підвищений рівень шуму також призводить до зниження чутності на робочому місці, запобігаючи поломці мовних і звукових сигналів під час технічних процесів. Цей стан призводить до підвищення рівня травматизму на виробництві.

Тому підвищений рівень шуму в процесі виробництва є актуальною проблемою, яку необхідно вирішувати шляхом розробки заходів та засобів зниження шуму в процесі.

Вплив шуму на організм людини. Шум – це будь-який вид шуму, який завдає шкоди здоров'ю та життю людини. Залежно від виду шуми можна розділити на безперервні та імпульсні.

Безперервний шум – це шум з невеликими змінами інтенсивності та спектру з часом, наприклад шум.

Розподіл кількості професійних захворювань за даними актів П-4 за галузями економіки підприємств, де працювали потерпілі, за 9 місяців 2021 року

№ п/п	Галузь економіки підприємств, де працювали потерпілі *	Кількість актів	У відсотках до загальної кількості
1	2	3	4
Всього по Україні		2 176	100,0
<i>В тому числі:</i>			
1	Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	1 948	89,5
2	Металургійне виробництво, виробництво готових металевих виробів, крім машин і устаткування	78	3,6
3	Виробництво коксу та продуктів нафтоперероблення	40	1,8
4	Будівництво	28	1,3
5	Виробництво машин і устаткування	24	1,1
6	Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	20	0,9

Рисунок 1.2 – Статистичні дані Фонду соціального страхування

Імпульсний шум – це шум деяких зовнішніх імпульсів.

Пошкодження шумом залежить від кількох факторів: тривалості, інтенсивності, спектру впливу шуму та того, як він змінюється з часом.

Міра шуму – шум. Шум можна класифікувати за походженням і джерелом шуму.

Отже, можна виділити: промисловий, дорожній, комунікаційний, житловий, житловий шум.

Залежно від частоти це може бути низькочастотний або високочастотний шум.

Негативний вплив шуму на людей проявляється у вигляді дискомфорту, погіршення продуктивності та працездатності. Шум високої інтенсивності згубно впливає на органи слуху, пошкоджує нервову систему та внутрішні

органи, викликає фізичну та розумову втому, викликає у людей відчуття тяжкості, може викликати головний біль та роздратування.

Розподіл кількості професійних захворювань за даними актів П-4 по регіонах України за 9 місяців 2021 року порівняно з 9 місяцями 2020 року

№ з/п	Регіон	Кількість складених актів за формою П-4 (9 місяців 2021 р.)	Кількість складених актів за формою П-4 (9 місяців 2020 р.)	Збільшення (зменшення) кількості складених актів	Відсоток збільшення (зменшення) кількості складених актів
Всього по Україні		2 176	1 506	670	44,5
1	АР Крим	-	-	-	-
2	Вінницька область	0	2	-2	-100,0
3	Волинська область	65	40	25	62,5
4	Дніпропетровська область	809	626	183	29,2
5	Донецька область	439	295	144	48,8
6	Житомирська область	2	10	-8	-80,0
7	Закарпатська область	0	1	-1	-100,0
8	Запорізька область	84	83	1	1,2
9	Івано-Франківська область	0	0	0	0,0
10	Київська область	1	0	1	100,0
11	Кіровоградська область	105	85	20	23,5
12	Луганська область	81	53	28	52,8
13	Львівська область	558	269	289	107,4
14	Миколаївська область	1	2	-1	-50,0
15	Одеська область	0	0	0	0,0
16	Полтавська область	2	3	-1	-33,3
17	Рівненська область	0	1	-1	-100,0
18	Сумська область	16	10	6	60,0
19	Тернопільська область	1	0	1	100,0
20	Харківська область	9	19	-10	-52,6
21	Херсонська область	1	1	0	0,0
22	Хмельницька область	0	0	0	0,0
23	Черкаська область	0	1	-1	-100,0
24	Чернівецька область	1	0	1	100,0
25	Чернігівська область	0	1	-1	-100,0
26	м. Київ	1	4	-3	-75,0
27	м. Севастополь	-	-	-	-

	зменшення
	збільшення

Рисунок 1.3 – Динаміка розподілу кількості випадків професійного захворювання по регіонам України

Кількість професійних захворювань у державах-членах МОП за категоріями причин захворюваності

Групи причин (кількість країн)	Азійсько-Тихоокеанський регіон		Африка		Європа		Америка	
	країна	кількість захворювань	країна	кількість захворювань	країна	кількість захворювань	країна	кількість захворювань
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хімікати								
30 країн	Японія	-	Ангола	31	Бельгія	15	Чилі	18
	В'єтнам	8	Алжир	56	Люксембург	27	Сальвадор	32
	Малайзія	10			Данія	29	Коста-Ріка	36
	Гонконг	22			Ірландія	30	Мексика	36
	Саудівська Аравія	40			Німеччини	31	Нікарагуа	45
	Тайвань	45			Португалія	31		
	Китай	56			Великобританія	32		
					Фінляндія	36		
					Росія	38		
					Іспанія	45		
					Чехія	55		
					Угорщина	56		
					Болгарія	57		
				Швейцарія	61			
				Туреччина	65			
Фізичні чинники								
24 країни	В'єтнам	4	Ангола	11	Фінляндія	6	Чилі	5
	Китай	5	Алжир	12	Угорщина	8	Сальвадор	9
	Саудівська Аравія	7			Португалія	11	Мексика	11
	Гонконг	9			Румунія	11	Нікарагуа	12
	Японія	13			Болгарія	12		
					Чехія	12		
					Росія	12		
					Іспанія	12		
					Туреччина	14		
					Великобританія	14		
				Німеччини	15			
				Ірландія	15			
				Бельгія	17			
з них, біомеханічні чинники								
3 країни	Японія	5			Болгарія	3		
					Фінляндія	3		
Біологічні чинники (27 країн), з них:								
Окремі види робіт								
8 країн	Японія	5			Чехія	3	Іспанія	4
					Данія	3	Нікарагуа	4
					Фінляндія	3		
					Росія	3		
					Німеччина	4		

Рисунок 1.4 – Розподіл кількості професійних захворювань у державах-членах МОП за хімічними, фізичними, біологічними чинниками (2019 р.)

За дією на людський організм рівень шуму можна поділити таким чином:
35 дБА і менше – шкоди для людини не виявлено, проте може викликати роздратування у чутливих людей;

35 - 70 дБА – тривалий шум цього значення може негативно вплинути на нервову систему людини, викликати загальну стомлюваність та утруднення засинання, знижується розбірливість мови;

70 - 85 дБА - надовго викликає зниження працездатності, порушення слуху, негативно впливає на нервову систему;

85 - 130 дБА – такий шум порушує слух, викликає серцево-судинні розлади, порушує почуття рівноваги, значно погіршує розбірливість мови навіть на невеликій відстані;

130-150 дБА – стимулює внутрішні органи людини до вібрації, викликає незворотні захворювання, включаючи значне погіршення слуху та його ушкодження;

при 150 дБА та більш – такий шум може незворотно порушити роботу людського організму, викликати нудоту, втрату рівноваги, люди, які працюють в таких умовах, часто страждають на невиліковні захворювання, а також виявляють симптоми психічних захворювань.

Нещодавно в Німеччині були опубліковані дані досліджень міністерства екології, з яких випливає, що шум – другий після куріння фактор ризику розвитку серцево-судинних захворювань. Крім того, він заважає логічному мисленню, викликає загальну перевтому, послаблення уваги, призводить до нещасних випадків, знижує продуктивність праці приблизно на 10 – 15% та одночасно значно погіршує його якість.

Іспанці взагалі твердо переконані, що шум є «забруднювачем робочого середовища» і завдає серйозної шкоди здоров'ю службовців, оскільки:

- його вплив призводить до підвищення тиску;
- у 60% персоналу відбуваються порушення сну та зміни у характері далеко не на краще;
- 5% співробітників стають запальними та дратівливими;
- у 28% жінок порушується менструальний цикл;
- 40% людей втрачають слух.

Саме тому встановлено обмеження та видано нормативи, що регламентують шумовий вплив на людей. За інформацією Всесвітньої організації охорони здоров'я, людина не може відпочивати за шуму понад 40 дБА. Для підлітків гранично допустима сипа звуку – 70 дБА, для дорослих – 90 дБА. Зони понад 85 дБА небезпечні, а в зонах із шумом, що перевищує 135 дБА, заборонено навіть короткочасне перебування людей.

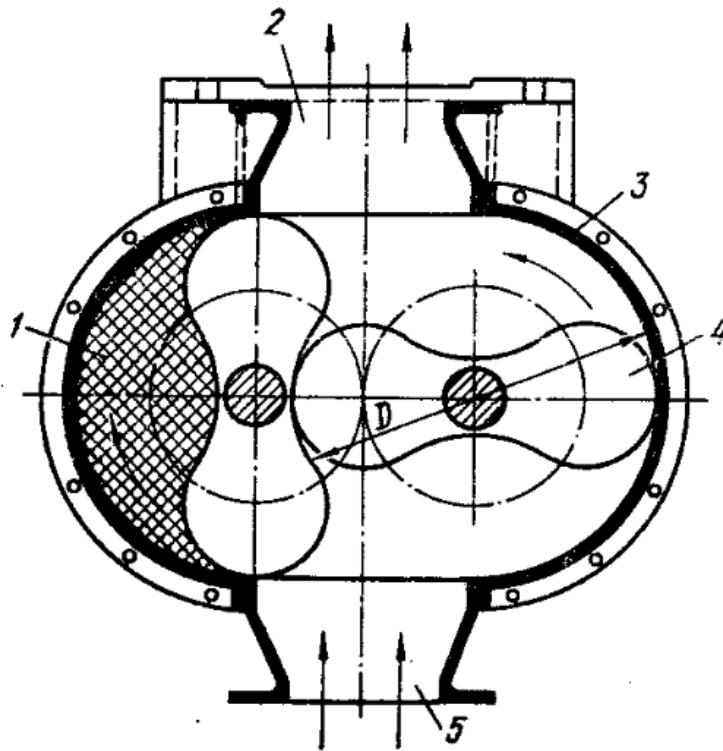
Професійна глухота найчастіше вражає людей «шумних» професій: клепальників, молотобійців, ткачів, артилеристів, звукорежисерів, музикантів джазових та симфонічних оркестрів.

1.2 Класифікація аеродинамічного шуму

Аеродинамічні шуми класифікують наступним чином:

1. Шуми, що відбуваються через періодичний випуск газу в атмосферу. Типовим прикладом такого шуму є сирена. Складові цього типу також зустрічаються в шумі ротаційних повітродувок (рис. 1.5), гвинтових насосів і компресорів, пневматичних двигунів, повітродувних машин об'ємної дії, в шумі випуску та впуску двигунів внутрішнього згоряння. Цей шум називається сиренним або об'ємним, він має монопольний характер.

2. Шуми, що виникають через утворення вихорів біля твердих меж потоку. До них відноситься вихровий шум, що утворюється через зрив вихорів при обтіканні тіл, і шум прикордонного шару, джерелом якого є турбулентність потоку біля поверхонь тіла, яке обтікають, або стінок каналу. Ці шуми найбільш характерні для вентиляторів, турбоповітродувок (рис. 1.6), насосів, турбокомпресорів, повітроводів, двигунів внутрішнього згоряння на високих частотах. Причина вихрового шуму – утворення змінних сил, що впливають на середовище, або тисків у твердих кордонів.



1 – камера; 2 – патрубок, що нагнітає; 3 – корпус; 4 – поршень; 5 – патрубок з поршнями, що обертаються

Рисунок 1.5 – Принцип роботи ротаційної повітродувки з поршнями, що обертаються

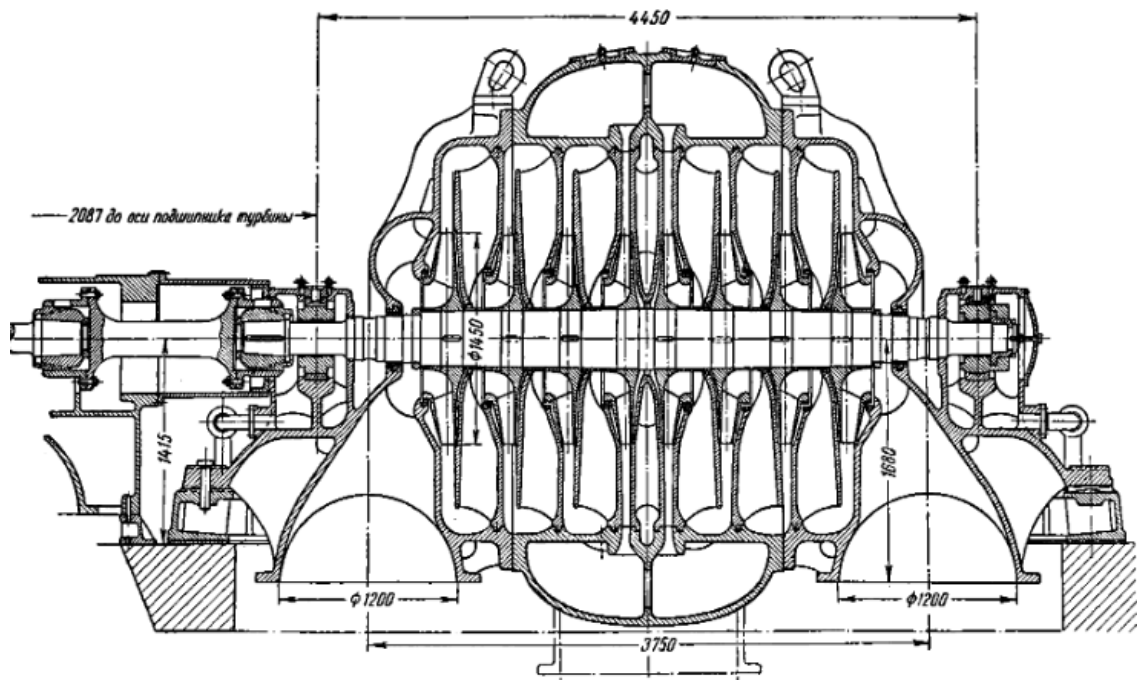


Рисунок 1.6 – Турбоповітродувка для доменної печі

3. Шум відривних течій виникає при відриві течії та утворенні замкнутих або розімкнутих вихрових зон, пульсації меж яких призводять до появи пульсацій тиску та генерації широкосмугового шуму. Цей шум має силовий (дипольний) характер і підпорядковується залежностям, притаманним вихровому шуму. Він широко представлений у шумі, що утворюється при русі повітря у фасонних деталях повітроводів (дросель-клапанах, колінах, трійниках, змінах перерізів, рис. 1.7).

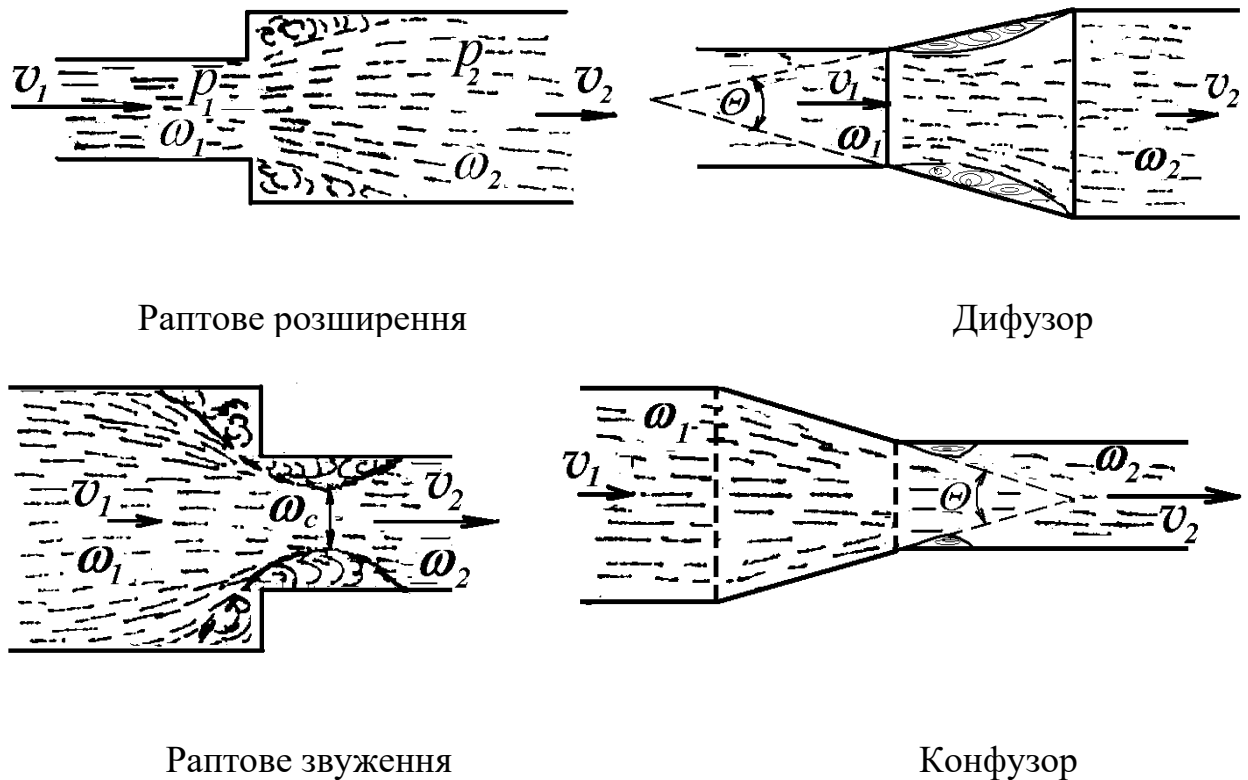


Рисунок 1.7 – Основні види фасонних деталей повітроводів

4. Шум від неоднорідності потоку або шум взаємодії, що виникає при обтіканні обертового робочого колеса вентилятора, що утворюється через наявність перешкод у потоці. Причиною його також може бути пульсація тиску на нерухомих перешкодах, розташованих поблизу робочого колеса, що обертається. Шум цей, як і вихровий, має силове походження і має дипольний характер.

5. Шум турбулентного характеру, що виникає далеко від твердих кордонів при перемішуванні потоків, що рухаються з різними швидкостями. Шум вільного струменя переважає в шумі викиду стисненого повітря та в шумі реактивних двигунів. Цей шум виникає через змінні дотичні (зсувні) напруження і носить квадрупольний характер.

6. Аэродинамические шумы, возникающие в сверхзвуковых течениях из-за наличия ударных волн (скачков уплотнения) и взаимодействия их с окружающей атмосферой или с твёрдыми стенками. Шум такого рода иногда наблюдается в распылителях краски, топливных форсунках и, вообще, при истечении газа со сверхзвуковой скоростью.

7. Нестійкі течії (поверхня розділу між рухомим і нерухомим повітрям поблизу резонатора, тонкий струмінь, що набігає на клин) у ряді випадків служать причиною виникнення шуму з дискретним частотним спектром, якщо є механізм регулювання частоти коливань у вигляді резонатора або механічної коливальної системи. Ці шуми можуть виникати при течіях газу по трубах з поглибленнями, при обдуві порожнистих тіл з отворами (наприклад, інфразвук, що виникає в автомобілі, що рухається при відкритих вікнах).

8. Аеродинамічний (гідродинамічний) шум виникає при автоколиваннях пружних конструкцій в рідині і газі (гідропружні, аеропружні коливання). До таких явищ відносяться ляскання недостатньо жорстких стінок повітроводів, «спів» гребних водяних гвинтів, автоколивання в повітрозабірних кранах і запірній арматурі при поганій конструкції ущільнюючих прокладок.

9. Кавітаційний шум виникає в рідинах через втрату ними міцності на розрив при зменшенні в них тиску нижче певної межі та виникнення порожнин (каверн) та бульбашок, заповнених парами рідини та розчиненими в ній газами, при захопуванні яких виникає звуковий імпульс. Кавітаційний шум з'являється ще до зміни робочих характеристик машин (насоса, турбіни) і є показником виникнення кавітації.

1.3 Зниження шуму екрануванням

Властивість екранів знижувати шум засноване на відображенні і розсіюванні звукових хвиль, що падають на них. За екраном утворюється «звукова тінь», якщо його розміри більші за довжину звукової хвилі. Найбільшої ефективності екрани досягають у сфері високих частот, найменшої – у сфері низьких частот.

Розрізняються природні та штучні екрани. Штучними є спеціально зроблені екрани зменшення в основному локальних джерел шуму. Вони широко використовуються при зниженні шуму трансформаторів, пересувних компресорних, градирень тощо. Відоме використання екранів для зменшення шуму від ТЭС. Наприклад, на ТЕС Редондо Біч (США) з цією метою було збудовано стіну довжиною 153 м і висотою 18 м.

Природні екрани – складки рельєфу місцевості, насипу, будівлі підприємств – дозволяють істотно знизити рівень шуму від джерела на шляху його розповсюдження за умови відповідного розміщення шумного обладнання за ними. Відповідне розміщення шумного обладнання за природними екранами від житлового району дозволяє у деяких випадках вирішити проблему зниження шуму від них. Максимальна ефективність екранів на свіжому повітрі може досягати 25-30 дБ.

Об'єкт вважають бар'єром або екрануючою перешкодою (екраном), якщо:

- його поверхнева щільність не менше 10 кг/м^2 ;
- його поверхня суцільна, без великих розривів чи просвітів (наприклад, технологічні установки на хімічних підприємствах не є екраном);
- горизонтальний розмір екрану в напрямку, перпендикулярному до лінії, що з'єднує джерело та приймач, більше довжини звукової хвилі з частотою, що дорівнює середньгеометричній частоті октавної смуги [3].

Акустичні екрани виготовляються з тонколистового металу або іншого щільного матеріалу, який може мати звукопоглинаючу облицювання з одного

або двох боків. Зазвичай акустичні екрани мають невеликі розміри і забезпечують локальні зниження прямого звуку від джерела шуму, не суттєво впливаючи на рівень відбитого звуку в приміщенні. При цьому акустична ефективність не дуже велика і, головним чином, залежить від співвідношення прямого і відбитого звуку в розрахунковій точці.

Підвищення акустичної ефективності екранів можна досягти шляхом збільшення їх площі, яка повинна становити принаймні 25-30% від площі перерізу огорож приміщення в площині екрана. При цьому ефективність екрану зростає за рахунок зниження щільності енергії відбитого звуку в частині приміщення, що екранується. Застосування екранів великих розмірів дозволяє також значно збільшити кількість робочих місць, у яких забезпечується зниження шуму.

У деяких випадках екрани встановлюються всередині приміщень. При цьому ефективність екрана знижується через появу відбитого від огорожувальних поверхонь звуку.

Зокрема, зниження рівня шуму від використання екрану в турбінному та котельному цехах, що є акустично необробленими приміщеннями, невелике і становить зазвичай не більше 2-3 дБ. Ефективність екрану підвищується у відносно невеликих, з фанерованим звукопоглинаючим матеріалом стелею приміщеннях. Тут максимальне зниження шуму може досягати 16 дБ [3].

1.4 Класифікація глушників. Принципи їх роботи

Відповідно до п. 1.2 головними джерелами аеродинамічного шуму на промислових підприємствах, є: газові тракти, тягодуттєве устаткування, газорозподільні станції тощо.

При русі газоповітряного потоку по системі газопроводів, які мають гострі грані, засувки, розширені та звужені ділянки, саме і виникає аеродинамічний шум. Використання плавних переходів (дифузоров та

конфузорів) дозволяє значно знизити рівень шуму газоповітряного потоку в повітроводі. Отже, плавний рух повітря сприяє зниженню рівня шуму у газопроводі. Саме використання глушників у системах газопроводів дозволяє отримати плавний потік газу у трубопроводі, тим самим зменшити рівень аеродинамічного шуму в системі [2].

Шум, який виникає під час роботи тягодуттєвого обладнання умовно можна поділити на аеродинамічний та механічний.

За рахунок пульсації тиска і, як наслідок, пульсації швидкостей газоповітряної суміші в проточних ділянках та ділянках повітроводу, які примикають до димососу виникає тональний аеродинамічний шум. Утворення механічного шуму відбувається при роботі електродвигунів та підшипників.

Літературний аналіз показав, що найбільш доцільним є зменшення рівня шуму саме в системах повітроводів, бо зниження рівня шуму у самому вентиляторі є дуже складною задачею. [5,6].

Відповідно до вищенаведених висновків, використання глушників в системі газопроводів є найбільш дієвим заходом зниження рівня аеродинамічного шуму до допустимих значень на відповідних частотах.

Рівняння балансу звукової енергії (потужності) в глушнику (рис. 1.8) має вигляд:

$$P_{\text{прон}} = P_{\text{пад}} - (P_{\text{огр}} + P_{\text{погл}} + P_{\text{випр}}) + P_{\text{ген}}$$

де $P_{\text{прон}}$, $P_{\text{пад}}$, $P_{\text{огр}}$, $P_{\text{погл}}$, $P_{\text{випр}}$, $P_{\text{ген}}$ – відповідно звукова енергія хвиль, що пройшли, падаючих, відбитих хвиль, енергія, поглинена в глушнику, що випромінюється в навколишній простір і генерується в ньому в одиницю часу.

У добре спроектованому глушнику енергією $P_{\text{ген}}$ у рівнянні балансу можна знехтувати. Ефективними засобами зменшення генерації енергії є зменшення швидкості потоку глушника і надання внутрішнім елементам глушника більш обтічної форми.

Передача звуку через глушник відбувається по газу, що знаходиться в порожнинах глушника, і по елементах конструкцій глушника. Енергія, що

передається за конструкцією, тобто непрямим шляхом, зазвичай невелика внаслідок великої різниці акустичних опорів повітря та металу (матеріалу корпусу).

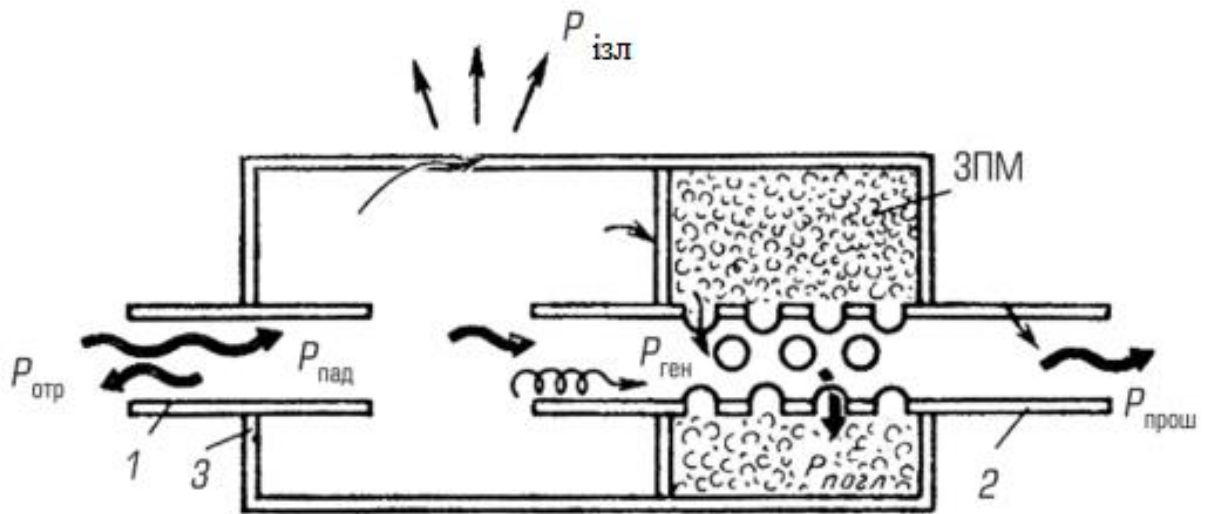


Рисунок 1.8 – Схема розподілу потоків звукової енергії в глушнику

Якщо вона виявляється порівняно з енергією, що передається прямим шляхом, то вживають заходів, що зменшують передачу вібрації по конструкції, зокрема, акустично розділяють корпусні елементи глушника або використовують кілька менших глушників ефективності [2].

Під час проектування глушників необхідно керуватися наступними параметрами:

- частота на якій необхідно знижувати рівень шуму;
- величина необхідного зниження ріння шуму;
- габарити повітроводів;
- допустимий гідравлічний опір глушника;
- розташування місця їх встановлення
- допустимі швидкості газоповітряної суміші у повітроводі.

Глушники шуму мають різні механізми дії, а отже і різні конструктивні характеристики. Умовно методи гасіння звукових хвиль можливо поділити на такі, як: активні (абсорбційні), реактивні та резонансні.

Глушники активного типу виготовляють у формі каналу, внутрішня поверхня якого оброблена звукопоглинальним матеріалом. Форма перетину каналу може бути круглою або квадратною (прямокутною) [3].

Слід зазначити, що під час використання звукопоглинального матеріалу існують певні обмеження. Зокрема, звукопоглинальний волокнистий облицювальний матеріал може насичуватися конденсаційною вологою, що призведе при подальшій експлуатації до зниження його ефективності. Також звукопоглинальний матеріал не використовують у трубопроводах по яких транспортується сильно запилений газ.

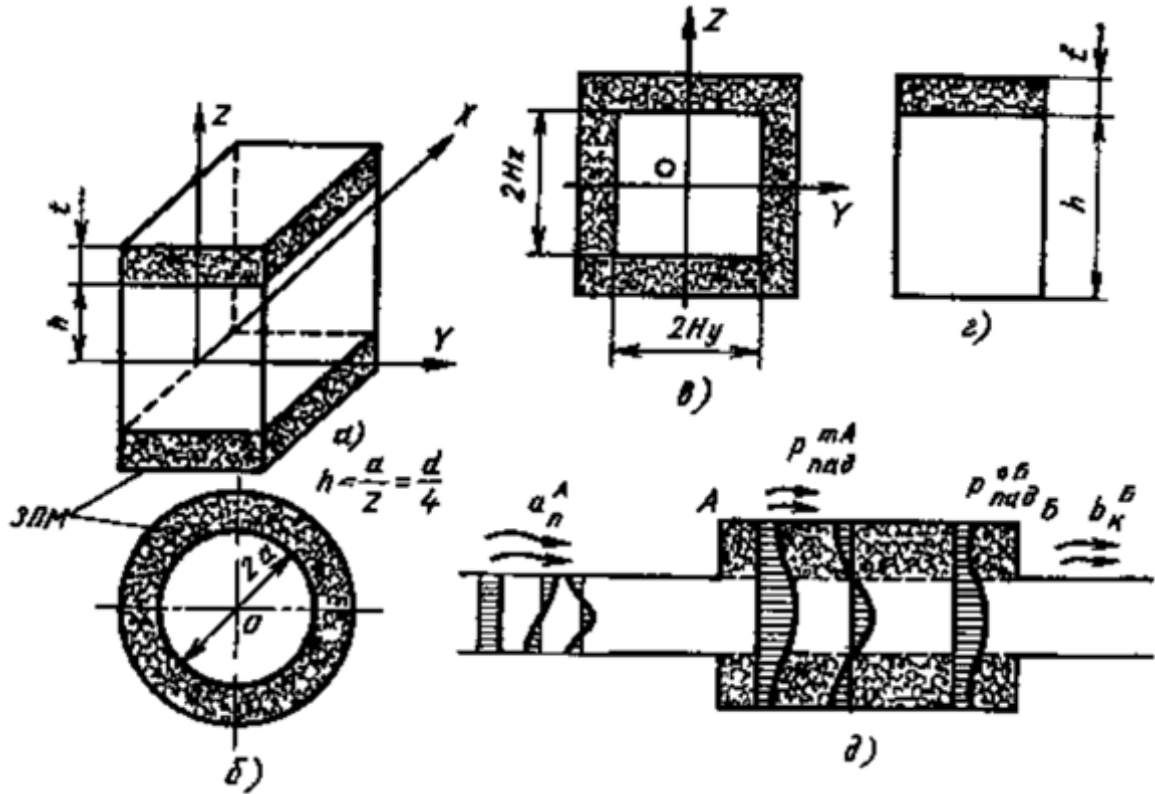
Отже, при підборі звукопоглинального матеріалу слід звертати увагу не тільки на частоту, на якій діє звукова хвиля, але на фізичні властивості матеріалу: негорючість, неагресивність, гігроскопічність, біостійкість, довговічність в експлуатації, нетоксичність.

Фізичні процеси, що визначають загасання звуку. Найбільш поширеним елементом активних глушників шуму є фанеровані канали круглого та прямокутного перерізів. Принцип роботи глушника з фанерованим каналом наведено на рис. 1.9. З приймальної труби на вхід глушника А набігають хвилі α_n^A з різними розподілами тиску перерізу 0-8. Вони частково відбиваються і частково проникають у глушник і поширюються у ньому вже як $P_{\text{пад}}^{mA}$, специфічних даного каналу.

Ці хвилі згасають при поширенні внаслідок поглинання звукової енергії. Причому різні хвилі (залежно від їх форми, швидкості поширення та глибини проникнення в ЗПМ) загасають по-різному. Для досить довгих фанерованих ділянок у вихідному перерізі Б можна знехтувати енергією, що переноситься сильно загасаючими хвилями, що генеруються на вході А, і враховувати лише менш загасну хвилю $P_{\text{пад}}^{mB}$. На виході з каналу вона, у свою чергу, частково відбивається та частково проникає у випускную трубу.

Ефективність глушника ΔL_T , яка визначається відношенням сумарної звукової енергії хвиль α_n^A , що набігають, до енергії минулих хвиль b_k^B , залежить від конструкції глушника і модального складу α_n^A на його вході.

Повна енергія $P_{\text{пад}} - P_{\text{прош}}$ складаються тут із втрат на відображення та генерацію швидко згасаючих хвиль на вході в канал, втрат при поширенні найменш загасаючої хвилі (моди) по каналу та втрат на виході з каналу.



а – канали, що обліцьовані; б, в, г – форми перетину

Рисунок 1.9 – Схема трансформування та передавання звукових хвиль

Елементи матриці розсіювання фанерованого каналу визначаються через коефіцієнти трансформації та відображення хвиль на вході та виході S_{nm}^A і S_{nm}^B та постійні поширення хвиль у каналі. Знання модального складу хвиль на виході з каналу дозволяє підібрати найбільш ефективні засоби подальшого їх придушення та підвищити ефективність шумоглушення.

Для збільшення ефективності трубчастих глушників в їх середину встановлюють сітки (рис.1.10, рис.1.11).

За рахунок чого в трубчастих глушниках спостерігається зменшення енергії аеродинамічного шуму, що випромінює струмінь. Але встановлення

сіток у трубчастих глушниках призводить до значного збільшення гідравлічного опору глушників.



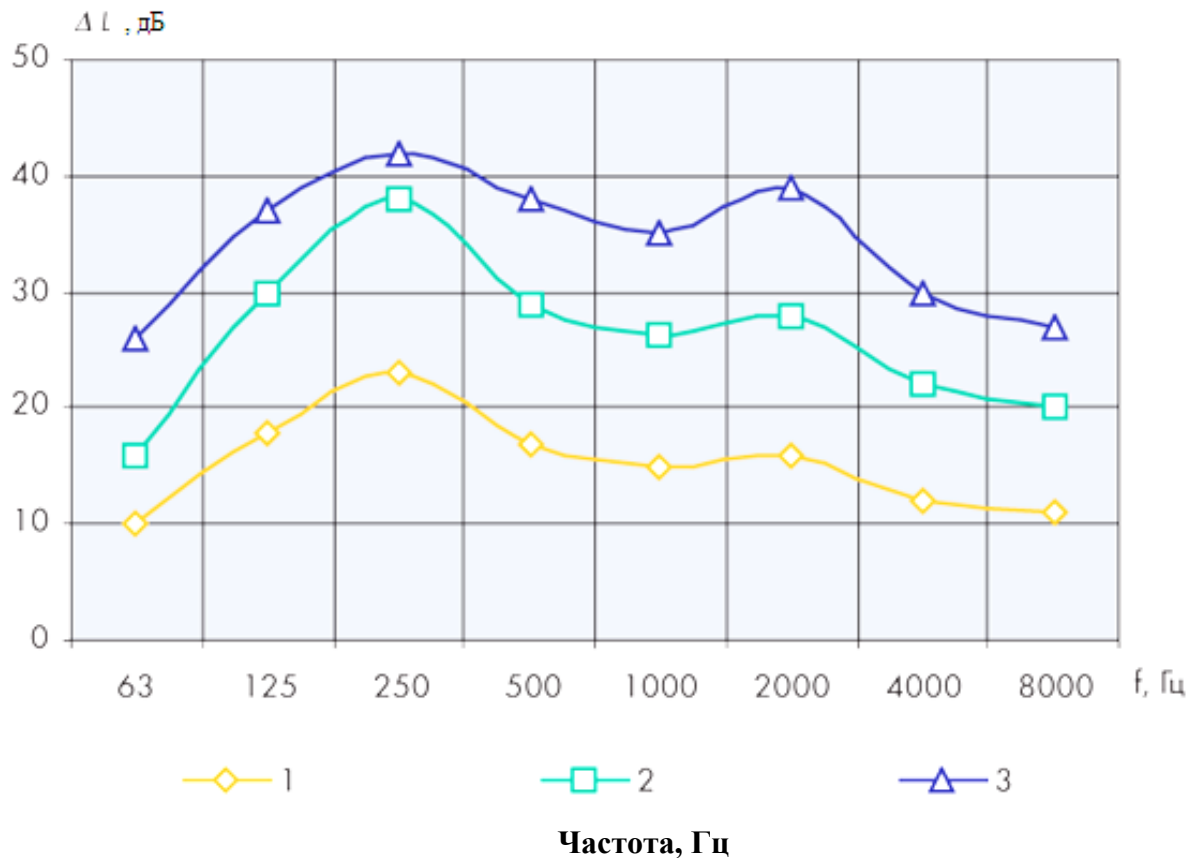
Рисунок 1.10 – Вигляд трубчастого глушника круглого перетину



Рисунок 1.11 – Вигляд трубчастого глушника прямокутного перетину

В якості трубчастих глушників можна використовувати гнучкі повітроводи (круглого перетину). Дані труби дозволяють забезпечити плавні повороти газового потоку тим самим знижуючи рівень шуму у повітроводі.

На рис. 1.12 наведена залежність зниження рівня шуму при використанні різноманітних видів глушників трубчастого типу. За даними роботи [13], при використанні трубчастих глушників (каркасних) довжиною 1 м та діаметром 0,2 м на частоті від 63 до 500 Гц зниження рівня шуму відбувається у межах від 3 до 7 дБ, на частотах від 500 до 2000 Гц значно підвищується їхня ефективність до 20-25 дБ. Також, в даній роботі зазначено, що підвищення довжини активної частини трубопроводів до 2 та 3 метрів збільшує їхню акустичну ефективність майже у двічі. (рис. 1.12).



1 – активна частина 1 м; 2 – активна частина 2 м; 3 – активна частина 3

м

Рисунок 1.12 – Зниження рівня шуму трубчастими глушниками, при частоті 63-8000 Гц

Якщо ж використовувати повітровід, який не має каркасу, то також можна досягти підвищення акустичної ефективності глушника в порівнянні з каркасним. Але при використанні каркасного глушника з звукопоглинальним матеріалом, який розташовано в середині глушника, то навпаки спостерігається

зворотнє явище, тобто акустична ефективність каркасного глушника з звукопоглинальним матеріалом буде вище ніж безкаркасна [13].

Але все ж таки використання всередині трубопроводу звукопоглинальних матеріалів повинно бути обґрунтованим та виключати конденсацію та поглинання вологи, осаду пилу на поверхні цього матеріалу.

Наступним видом глушників, які широко застосовуються на виробництві є пластинчасті. Ефективність таких глушників буде залежити від відстані між пластинами, які розташовані всередині глушника, матеріалу виготовлення цих пластин та виду звукопоглинального матеріалу. (рис.1.13). За даними роботи [13], видно що ефективність таких глушників росте при зниженні відстані між пластинами (до $2d_0$). Але відомо, що збільшення кількості таких пластин та зменшення між ними відстані призведе до значного росту гідравлічного опору трубопроводу. На рис. 1.14 наведено вплив різної відстані між пластинами глушника на його акустичну ефективність.

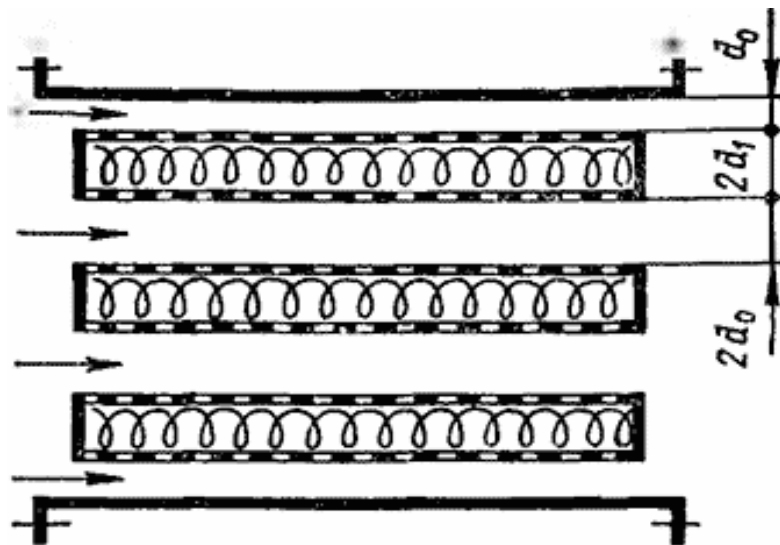
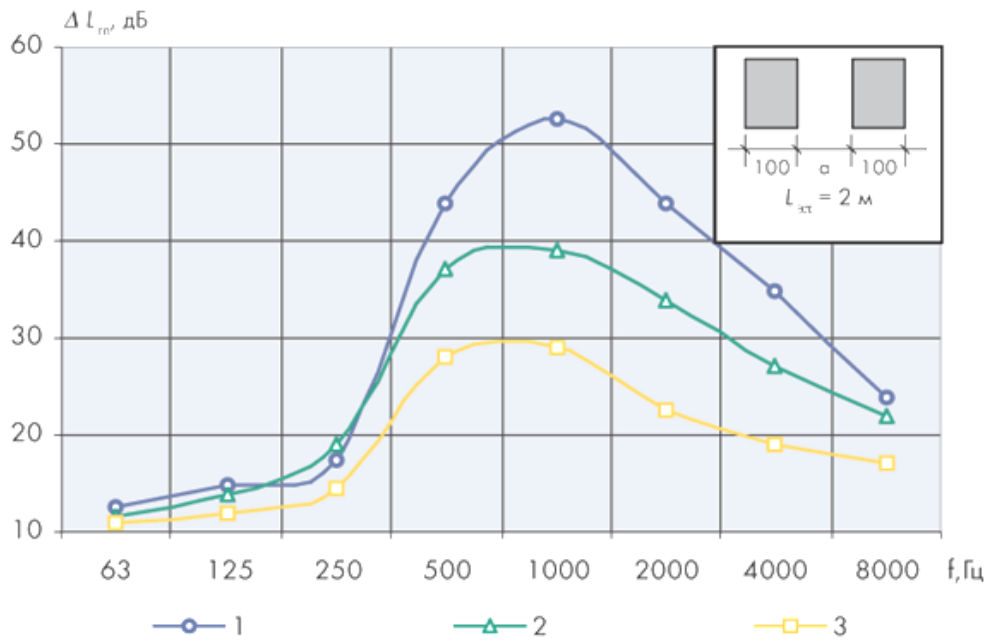


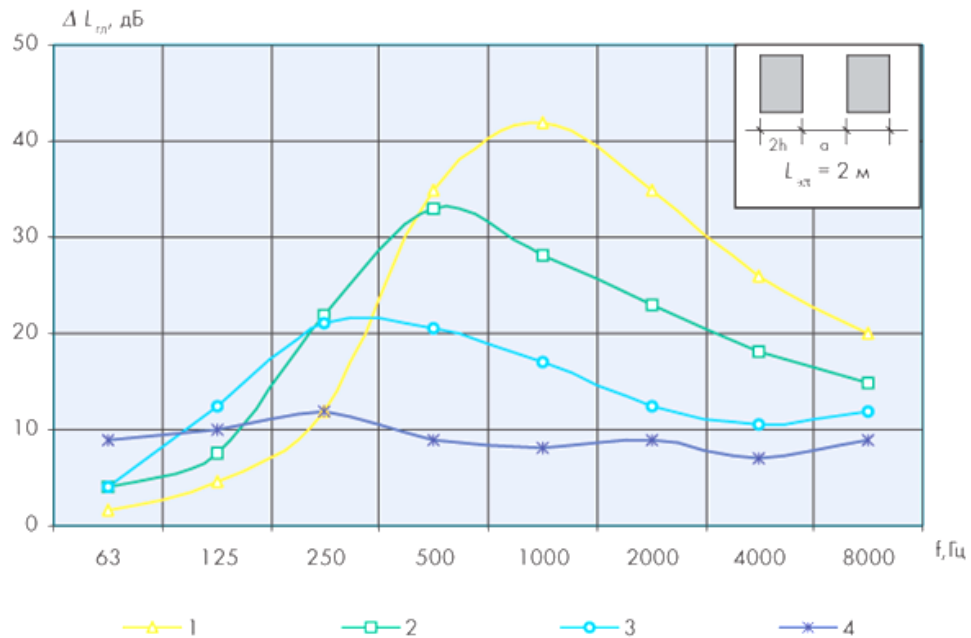
Рисунок 1.13 – Схема пластинчастого глушника

З рис.1.14 видно що оптимальний діапазон використання пластинчастого глушника є від 500 до 8000 Гц і становить більш ніж 20 дБ. Для вирішення задачі збільшення ефективності глушників в діапазоні частот від 63 до 500 Гц необхідно змінювати товщину пластин (рис.1.15) [13].



1 – відстань між пластинами 100 мм, 2 – відстань між пластинами 166 мм, 3 – відстань між пластинами 300 мм

Рисунок 1.14 – Вплив відстані між пластинами глушника та виду матеріалу на його ефективність: мати СТВ $\rho_{ЗПМ}=20$ кг/м³, склотканина ЕЗ-100, перфорований лист $d_{ПВ}=6$ мм, шаг 12 мм [13]



1 - $2h = 100$ мм, $a = 100$ мм ($\rho_{ЗПМ}=20$ кг/м³); 2 - $2h = 200$ мм, $a = 200$ мм ($\rho_{ЗПМ}=15$ кг/м³); 3 - $2h = 400$ мм, $a = 400$ мм ($\rho_{ЗПМ}=15$ кг/м³); 4 - $2h = 800$ мм, $a = 800$ мм ($\rho_{ЗПМ}=15$ кг/м³)

Рисунок 1.15 – Вплив зміни товщини пластин звукопоглинальної конструкції глушника на ефективність пластинчастого глушника: мати СТВ $\rho_{ЗПМ}=20$ кг/м³, склотканина марки ЕЗ-100, перфорований лист $d_{ПВ}=6$ мм, шаг 12 мм

В свою чергу, з експериментальних досліджень, які наведені в роботі [13] видно, що зміна інших геометричних розмірів пластин не призведе до зміни акустичної ефективності глушника. Також зміна кількості послідовно встановлених пластин у такому глушнику також не дала позитивного результату.

Для ефективного зменшення рівня шуму на частотах від 63 до 500 Гц використовують стільникові глушники (рис. 1.16). На частотах від 500 Гц такі глушники за своєю ефективністю є подібними до пластинчастих глушників. Слабкою стороною стільникових глушників є їх значні габарити та високий гідравлічний опір, який вони будуть створювати в системі трубопроводів. Отже, використання стільникових глушників є обмеженим.

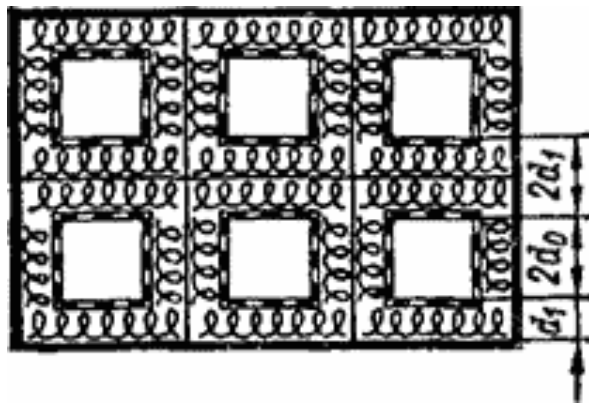
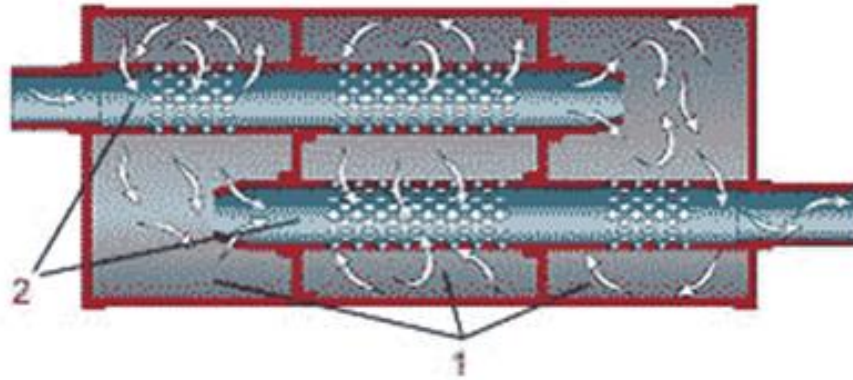


Рисунок 1.16 – Схема стільникового глушника

Якщо шум має широкий діапазон частот, то є доцільним використання реактивного типу (рис. 1.17). Конструкція такого типу глушників складається з камер, які мають розширення та поєднані з газоповітроводом.

Структурні особливості реактивних і комбінованих глушників. Реактивні глушники використовуються зазвичай зменшення передачі шуму на низьких частотах з $0,5\lambda > b_x$, у яких вони, зазвичай, ефективніше активних глушників із ЗПМ.



1 – камера; 2 – перфоровані труби

Рисунок 1.17 – Реактивний лабіринтний глушник

Істотною перевагою реактивних глушників є відсутність ЗПМ, що особливо важливо при використанні глушників у системах із запиленими та хімічно активними потоками та в системах викиду продуктів згоряння, де застосування ЗПМ ускладнене його запиленням, замастлюванням, консуванням продуктів згоряння.

Виняток ЗПМ сприяє також покращенню умов праці на заводах – виготовлювачах глушників та зменшує вартість глушників.

Для зменшення шуму одночасно на низьких і високих частотах використовують комбіновані глушники. Відбивають елементи в цих глушниках або відбивають звук безпосередньо у вхідний повітропровід і працюють незалежно від дисипативних елементів глушника, або використовуються для підвищення ефективності цих елементів.

Реактивні та комбіновані глушники шуму komponують зазвичай з елементів двох типів – відбивних та сполучних з чітко розмежованими функціями. Перші створюють відображення звуку (визначальне зменшення його передачі), другі (канали зв'язку) – забезпечують умови сприятливої роботи елементів, що відбивають, і транспортування робочого середовища між елементами, що відбивають. Роль окремих елементів на різних частотах може бути різною залежно від специфіки частотних характеристик і характеристик сусідніх елементів.

Особливістю реактивних глушників є резонансний характер їх характеристик. При збудженні реактивного глушника широкосмуговим шумом більшість енергії, зазвичай, передається через нього поблизу резонансних частот системи рахунок порушення своїх форм коливання газу, відповідних власним частотам, близьким до частот вхідного сигналу. Пригнічення резонансної передачі звуку становить основу методів підвищення ефективності реактивних шумів глушників.

Камерні відбивачі звуку. Основними елементами реактивних глушників є розширювальні камери (1.18 а). Хвилі, що набігають з приймальної труби α_1 , збуджують на вході в камери коливання об'ємної витрати Q_1 , які, у свою чергу, збуджують у ній звуковий тиск P . Амплітуда пропущеної хвилі b_2 дорівнює середньому тиску у зрізу випускної труби P_2 і визначається в основному передавальною функцією (рис 1.18 б):

$$z_{21} = P_2/Q_1$$

На низьких частотах, для яких максимальний лінійний розмір камери $L_m < \lambda/4$, звуковий тиск у всіх точках камери майже однаковий, і вона працює як акустична ємність. Звуковий тиск у камері та передача звуку через неї тим менше, чим менше кількість газу потрапляє в камеру за половину періоду коливань, і чим більший обсяг камери. Для камери достатньо великого обсягу $|z_{21}| \ll 1$ більшість енергії набігаючих хвиль відбивається в приймальну трубу.

На частотах, де довжини хвиль співмірні з геометричними розмірами камери, звуковий тиск розподілено по камері значно нерівномірно і дорівнює сумі тисків у формах (модах) коливань обсягу. Передатна функція z_{21} цих частот має резонансний характер.

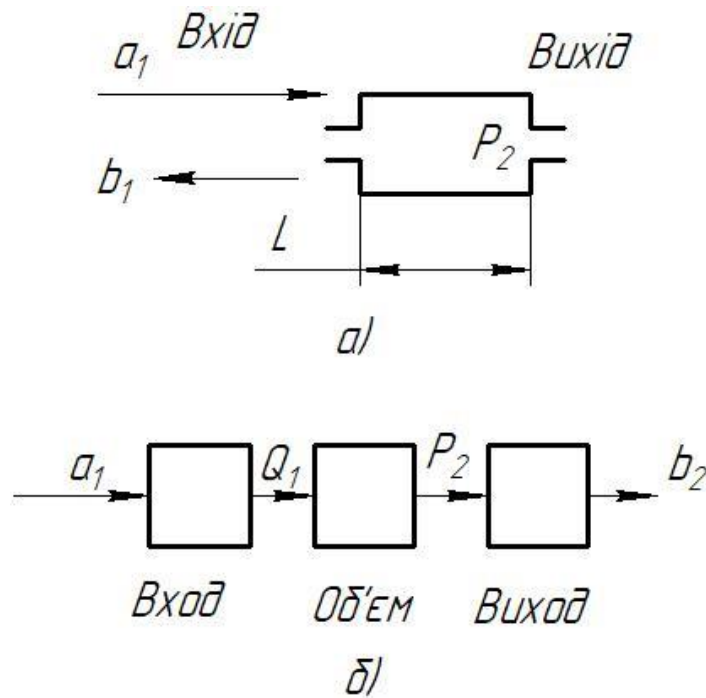
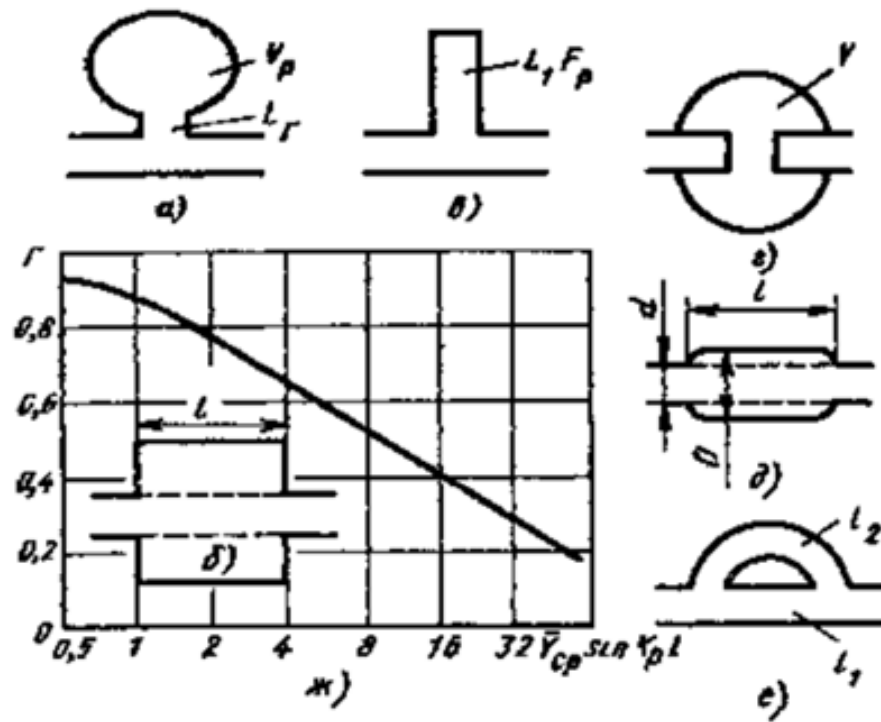


Рисунок 1.18 – Камерні глушники

Глушники резонансні мають вигляд газових порожнин, що сполучені з повітроводом за допомогою отворів. Такі глушники теж використовують для придушення шуму з яскраво вираженими дискретними складовими. Тобто, резонансні та реактивні глушники не пристосовані для гасіння широкосмугових шумів і призводять до підвищення гідравлічного опору.

Резонансні відбивачі звуку. Порівняно з широкосмуговими камерними відбивачами резонансні відбивачі мають більшу ефективність, але у значно вужчій смузі частот. У практиці боротьби з шумом застосовують резонатори Гельмгольца, чвертьхвильові та об'ємні резонатори, концентричні та інтерференційні відбивачі звуку.

Резонатори Гельмгольца містять камеру з об'ємом V_p , з'єднану з повітроводом горлом у вигляді короткої трубки (рис. 1.19) або отворів у стінці повітропроводу. Резонансна частота визначається виразом:



а – резонатор Гельмгольца; б – концентричный резонатор; в – четвертьхвильовий резонатор; г – об’ємний резонатор; ж – допоміжні функції для визначення резонансної частоти концентричного резонатора

Рисунок 1.19 – Резонансні глушники

$$f_p = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{F_r}{l_r \cdot V_p}}$$

де l_r, F_r – длина и площадь горла резонатора, м и м^2 соответственно.

В длину горла кроме длины трубки (или толщины стенки воздуховода, если горло выполнено в виде отверстий) включают концевые поправки:

$$\Delta l_r = 2(0,44\sqrt{F_{\text{отв}}})$$

де $F_{\text{отв}}$ – площадь одного отверстия (соединительной трубки).

Ефективність резонатора визначається його еквівалентною провідністю:

$$Y_{\text{екв}} = \frac{\overline{Y_{\text{ср}}}}{|\Omega_p^{\cdot}|}$$

де $\overline{Y_{\text{ср}}} = k_p \cdot l_{\text{ср}}$ – пружна провідність камери резонатора на резонансній частоті.

Ω_p^{\cdot} – комплексна растрійка;

Q – добротність резонатора.

$$\Omega_p^{\cdot} = \frac{f}{f_p} - \frac{f_p}{f} + fQ^{-1}$$

У стрічці затухання ефективність резонатора розраховується як сума акустичного звуку ємності на резонансній частоті, $\Delta L_C^p \cong 20 \log 0,5\overline{Y_{\text{ср}}}$ та резонансного додадку $\Delta L^p \cong 20 \log |\Omega_p^{\cdot}|$.

Чвертьхвильові резонатори виконуються у вигляді труб, що відповідають (рис. 1.19 в) і у вигляді кільцевих камер, що охоплюють повітропровід. Ці резонатори мають кілька резонансних частот :

$$f_{pn} = (2n - 1)c/4l$$

де l – довжина резонатора, м.

Екранні глушники (рис. 1.20) використовують в тих випадках коли глушники інших типів є недостатньо ефективними. Їх встановлюють біля виходу з трубопроводу. Для досягнення більшої ефективності екранні глушники зі сторони повітроводу облицьовують звукопоглинальним матеріалом. Даний вид глушників є неефективним до шумів з низькою частотою [12].

Варто відзначити, що підчас гасіння шуму необхідно приділити особливу увагу до його низькочастотних складових: на низькочастотну область акустичного спектру досить часто доводиться максимум випромінювання потужних тягодуттєвих агрегатів.

З вищевикладеного випливає, що зниження рівня шуму, що створює технологічне обладнання (компресори, димососи, потужні вентилятори тощо), є актуальним питанням для виробничих підприємств.

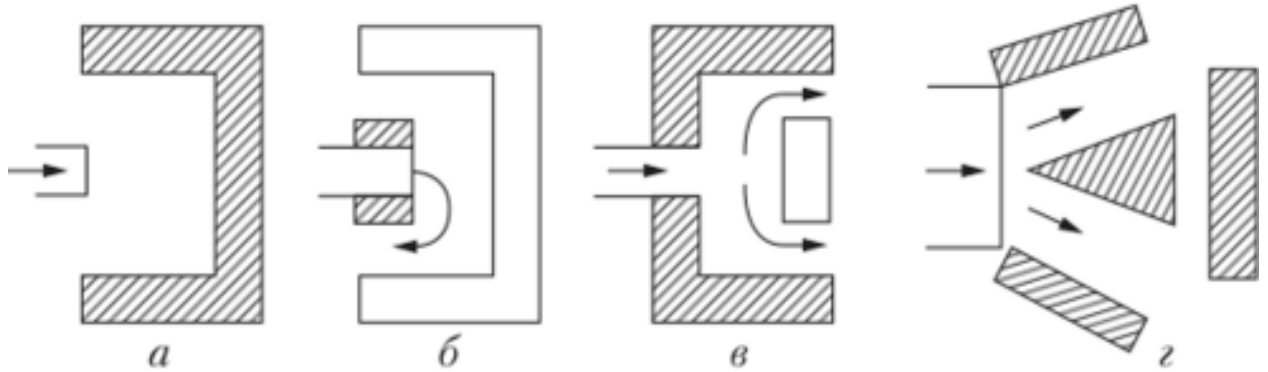


Рисунок 1.20 – Основні типи конструкцій екранних глушників

Таким чином, метою роботи є розробка системи високоефективного зниження тонального аеродинамічного шуму в широкому діапазоні частот.

1.5 Обґрунтування вибору конструкції глушника для зниження аеродинамічного шуму

Для зниження аеродинамічного шуму найчастіше використовують принцип перетворення звукової енергії на теплову енергію та локальний резонанс. Іншим способом зниження шуму в трубопроводі є його облицювання звукопоглинальним матеріалом. Але відомі обмеження на використання звукопоглинального матеріалу (наведені у п. 1.4) значно звужують межі його використання в системах газопроводів промислових підприємств.

Отже, для проектування ефективного глушника необхідно використовувати принцип дії резонансних глушників та активних. Конструкція таких глушників може бути різноманітною та значно відрізнятися

як за геометричними розмірами, так і за гідравлічним опором, який буде створюватися такими глушниками.

Таким чином, для розв'язання наукового завдання кваліфікаційної роботи необхідно встановити параметри, які будуть значно впливати на ефективність запроєктованого глушника.

Для обґрунтування вибору конструкцій розглянемо далі механізм дії резонансного глушника.

Зниження рівня аеродинамічного шуму у резонансних глушниках відбувається за рахунок відбиття звукової хвилі з фазою, яка буде протилежною фазі звукової хвилі, що потрапляє у резонатор. Таким чином відбувається гасіння звуку у резонансному глушнику. Найбільш відомим та простим за конструкцією резонансним глушником є глушник-резонатор Гельмгольца.

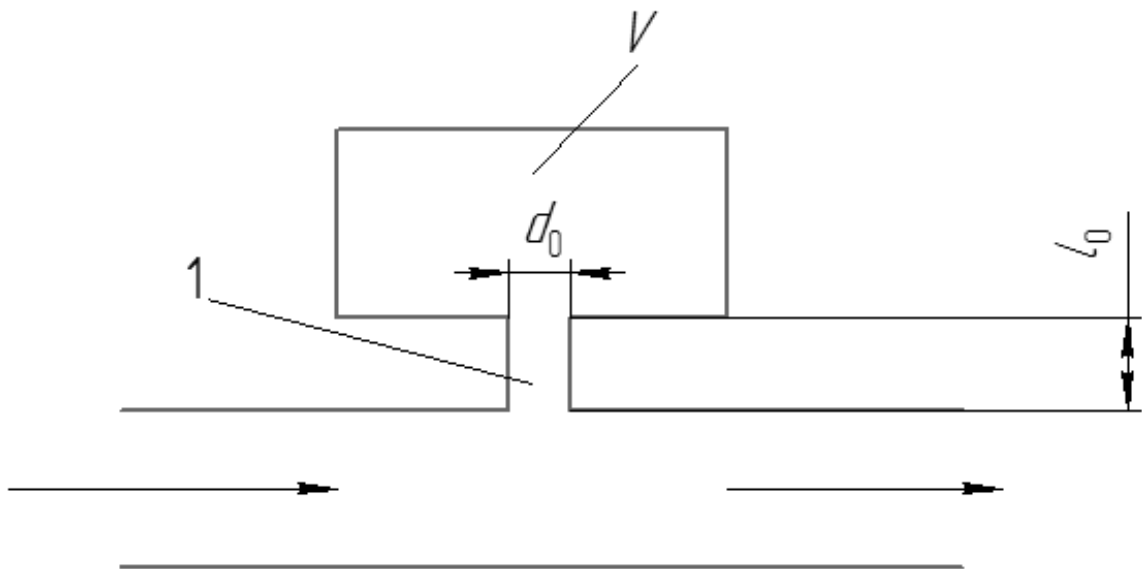


Рисунок 1.21 – Глушник-резонатор Гельмгольца

Глушник-резонатор Гельмгольца за своєю конструкцією представляє порожнину, що з'єднується горлом з газопроводом. Під час руху газу в трубопроводі в глушнику виникають коливання звукової хвилі, але енергія цієї хвилі буде втрачатися на подолання інерційності маси газоповітряної суміші в горлі резонатора та пружності газоповітряної суміші в порожнині глушника.

Отже, основною характеристикою глушника-резонатора Гельмгольца буде частота його власних коливань [7]:

$$f_p = \frac{c}{2\pi} \cdot \left(\frac{K_0}{V} \right)^{0.5}, \quad (1.1)$$

де c – швидкість звуку в повітрі, м/с;

K_0 – провідність горла, м, $K_0 = S / (l_0 + 0,25d_0)$;

V – об'єм порожнини, м³;

d_0 – діаметр трубки, м;

l_0 – довжина трубки, м.

Відповідно до формули 1.1 при збільшенні об'єму порожнини глушника буде спостерігатися зменшення частоти коливання хвиль у резонаторі.

Найбільш поширеними глушниками, які використовують принцип резонансного гасіння звукової хвилі, є камерні глушники. На рис.1.22 наведена конструкція такого глушника резонансного типу. Такі резонатори мають вигляд камери, що концентрично розташована по відношенню до газопроводу. В камері рівномірно розташовані отвори діаметром d_0 та кроком отворів a .

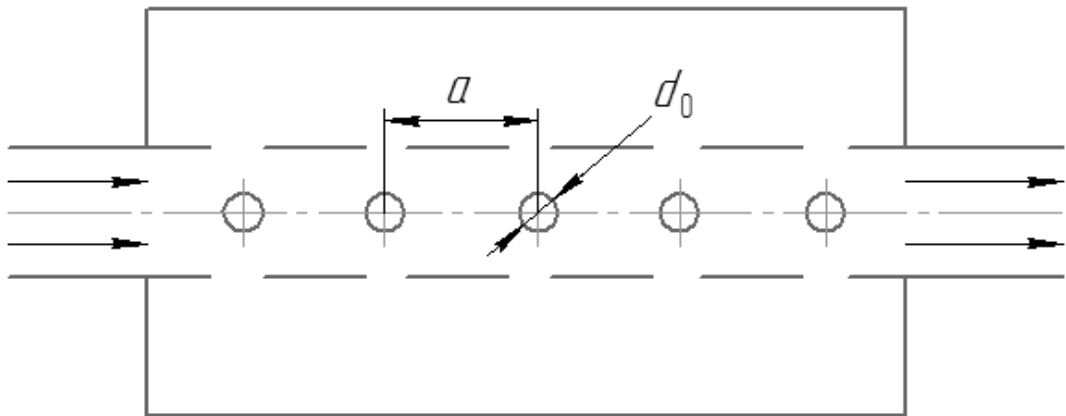


Рисунок 1.22 – Однокамерний глушник

Для розрахунку власної частоти коливань такого резонатору використовують формулу 1.1. Але провідність отворів визначають з урахуванням довжини, діаметру та кількості отворів в камері резонатору:

$$K_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2 \cdot n}{4 \left[l_0 + \frac{\pi \cdot d_0}{4\psi \left(\frac{d_0}{a} \right)} \right]}, \quad (1.2)$$

де n – кількість отворів;

l_0 – довжина отворів, тобто товщина стінки трубопроводу, м;

$\psi(d_0/a)$ - функція Фока [7].

Для прорахунку ефективності резонатору беремо значення функції Фока, що наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Функція Фока

d_0/a	$\leq 0,1$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$\psi(d_0/a)$	1	1,5	2	2,3	3	4,2	7,5	15

Знайдене значення провідності отворів підставляємо у формулу (1.3), що дозволяє розрахувати акустичну ефективність камерного глушника:

$$\Delta L = 10 \lg \left[1 + \frac{K_0 \cdot V}{4S \left(f / f_p - f_p / f \right)^2} \right]. \quad (1.3)$$

де V – об'єм резонансної камери, м³;

S – площа перетину трубопроводу, м²;

f – поточна та резонансна частота, Гц;

f_p – та резонансна частота, Гц.

Відповідно до завдання кваліфікаційного проекту оберемо початковий рівень звуку, що відповідає спектру шуму від відцентрового вентилятору типу 8500-11-1. [7].

Таблиця 1.2 – Спектр шуму відцентрового нагнітача 8500-11-1

Найменування параметру	Величина параметрів							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Рівень звукового тиску, дБ	94	94	104	92	88	82	76	68

Отже, з даних таблиці 1.2 видно, що шум, який буде створювати даний вентилятор є тональним. Максимальний рівень звуку становить 104 дБ на частоті 250 Гц, а мінімальний звуковий тиск – 68 дБ на частоті 8000 Гц.

Визначаємо перевищення фактичних рівнів шуму під час роботи вентилятора за допустимі значення. Отримані дані вносимо до табл. 1.3. Відповідно до одержаних даних найбільше перевищення рівня шуму за допустиме значення відбувається на частоті 250 Гц.

Таблиця 1.3 – Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот L_o , та їх перевищення за роботи відцентрового нагнітача 8500-11-1, ΔL

Найменування параметру	Величина параметру							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL_o , дБ	90	82	77	73	70	68	66	64
ΔL_n , дБ	4	12	27	19	18	14	10	4

Для подальших розрахунків приймаємо наступні вихідні дані:

- діаметр газопроводу $D = 0,19$ м;
- кількість отворів у глушнику $n = 10$ шт;
- діаметр отворів, $d_o = 0,06$ м;
- крок отворів, $a = 0,075$ м;
- товщина стінки труби (довжина), $l_o = 0,0065$ м;
- швидкість звуку в повітрі за температури 20°C , $c = 343$ м/с.

Визначаємо співвідношення між діаметром отвору та кроком їх розташування:

$$d_0/a = 0,8.$$

Тоді при $d_0/a = 0,8$ Функція Фоку становить $\psi = 15$ (табл. 1.1). Приймаємо товщину стінки труби (вона ж є довжиною отвору) $l_0 = 0,0065$ м [8].

Визначаємо за Тоді формулою (1.2) провідність отворів.

$$K_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2 \cdot n}{4 \left[l_0 + \frac{\pi \cdot d_0}{4\psi \left(\frac{d_0}{a} \right)} \right]}$$

$$K_0 = \frac{3.14 \cdot 0.06^2 \cdot 10}{4 \left[0.0065 + \frac{3.14 \cdot 0.06}{4 \cdot 15 \cdot \left(\frac{0.06}{0.075} \right)} \right]} = 2.93$$

Тоді далі з формули 1.1 визначаємо необхідні розміри глушнику:

$$V = \frac{K_0 \cdot c^2}{4\pi^2 \cdot f_p^2} \quad (1.4)$$

Відомо, що швидкість звуку в повітрі за температури 20°C [8] складає $c = 343$ м/с.

$$V = \frac{2.93 \cdot 343^2}{4 \cdot 3.14^2 \cdot 250^2} = 0.14 \text{ м}^3$$

Тоді зниження рівня шуму за формулою 1.3 на частоті 250 Гц становить 40 дБ. Далі за тією ж формулою визначаємо зниження рівня шуму на інших

частотах при об'ємі глушника 0,14 м³. Результати розрахунку заносимо до табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати розрахунку першого глушника

Параметр	Числове значення							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL , дБ	10	18	40	18	10	5	2	1
Рівень звукового тиску	84	76	64	74	78	77	74	67
ΔL_n , дБ	-	-	-	1	8	9	8	3

За результатами розрахунку видно, що даний глушник буде ефективним лише в діапазоні частот до 500 Гц. Далі встановлюємо в системі газопроводу другий глушник, розміри якого будемо розраховувати за умов, що резонансна частота має значення 1000 Гц. Маємо майже однакове перевищення норм на частотах 1000, 2000 і 4000 Гц. Оскільки резонансні глушники краще діють на низьких частотах, другий глушник розраховуємо на резонансну частоту 1000 Гц (інші вихідні дані для розрахунку є незмінні).

Об'єм другого глушника:

$$V = \frac{2.93 \cdot 343^2}{4 \cdot 3.14^2 \cdot 1000^2} = 0.0087 \text{ м}^3$$

Тоді зниження рівня шуму за формулою 1.3 на частоті 1000 Гц становить 40 Гц. Для наступних частот також проводимо розрахунок і результати заносимо до табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунку другого глушника, дБ

Параметри	Числове значення							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL	0	1	2	7	40	7	2	1
Рівень звукового тиску	84	75	62	67	38	70	72	66
ΔL_n	-	-	-	-	-	2	6	2

Згідно отриманих даних, на частотах 2000-8000 Гц все ж таки відбувається перевищення допустимих значень рівнів звукового тиску. Але з урахуванням гідравлічного опору резонансних глушників встановлення

третього резонансного глушника є недоцільним. Отже, постає необхідність в використанні звукопоглинального матеріалу в трубопроводі. За даними роботи [7] використання звукопоглинального матеріалу на ділянці трубопроводу в 1 м дозволяє знизити рівень шуму на 7 дБ на частотах від 2000 до 8000 Гц.

Таким чином, з розрахованих даних видно, що найбільш доцільним є використання встановлених два поруч (послідовно) глушники резонансного типу та одного активного типу.

2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГЛУШНИКА

2.1 Методика визначення ефективності глушників аеродинамічного шуму

Згідно до ДБН В.1.1-31:2013 оцінка рівня шуму відбувається на різних частотах. Визначаємо рівень шуму на частотах в діапазоні 63-8000 Гц. Робота глушника вважається ефективною, якщо рівень звуку, що вимірюється після встановлення глушника не перевищує допустимих значень на всіх частотах.

Для вимірювання рівня шуму використовували шумомір типу ВШВ-003 рис. 2.2, (діапазон вимірювання від 22 дБ до 140 дБ) та ИШВ-1 (діапазон вимірювання от 30 дБ до 130 дБ). Клас точності приладів -1.

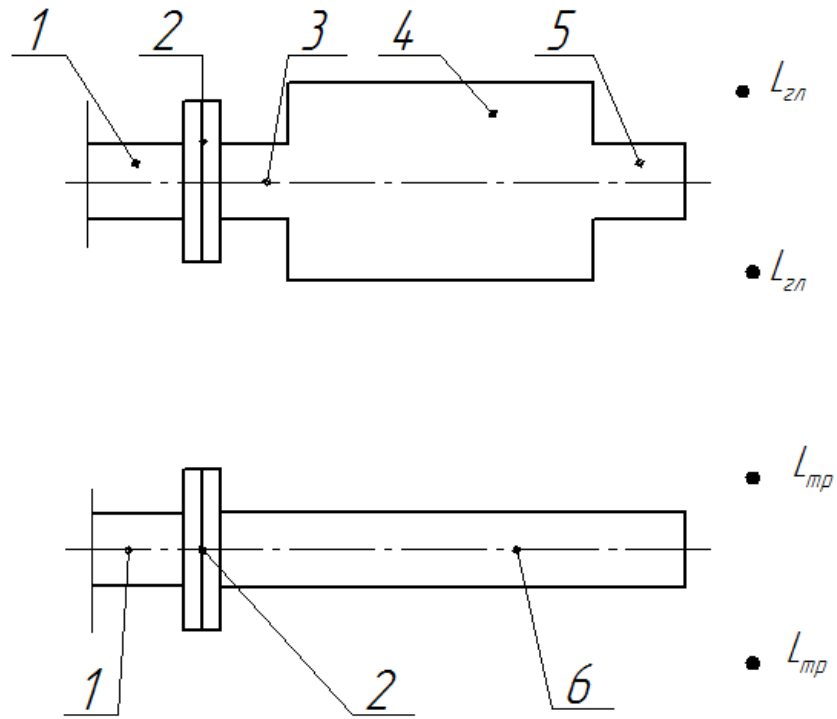
Рівень шуму замірюється на відстані 0,2 м від газопроводу (рис.2.1).

Визначення ефективності глушника проводиться за розрахунком зниження рівня шуму, дБ (нам частоті 63-8000 Гц):

$$\Delta L = L_{\text{тр}} - L_{\text{гл}} \quad (2.1)$$

де $L_{\text{тр}}$ – початковий рівень шуму (без глушника), дБ;

$L_{\text{гл}}$ – кінцевий рівень шуму (при встановлені глушника), дБ.



1 – трубопровід; 2 – глушник; 3 – вхідний патрубок глушника; 4 – глушник; 5 – вихідний патрубок глушника; 6 – трубопровід

Рисунок 2.1 – Схема проведення вимірювання рівня аеродинамічного шуму



Рисунок 2.2 – Шумомір типу ВШВ-003

2.2 Математична обробка результатів дослідження ефективності глушника

Визначаємо рівень шуму від вентилятора без встановлення глушника у трубопроводі на частоті 1000 Гц, дБ: 92; 93; 96; 94; 93; 92; 96; 93; 95; 96.

Встановлюємо достовірність результатів вимірювання шляхом перевірки нормальності розподілу випадкової величини (методод Пірсона).

Величина k^2 характеризує різницю між емпіричним розподілом і теоретичним:

$$k^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(h_i - nP_i)^2}{nP_i}, \quad (2.2)$$

де l – кількість інтервалів групування;

h_i – абсолютна емпірична частота;

n – загальне число спостережуваних значень;

P_i – ймовірність попадання значень в i -й інтервал;

nP_i – число потрапивших в i -й інтервал вимірювань.

Для розрахунку приймаємо наступні вихідні дані

- - загальне число спостережень $n=10$;

- - кількість інтервалів групування $l \approx \sqrt{n} \sqrt{10} = 3,16$. Приймаємо 3 інтервали;

Визначаємо величину ширини інтервалу групування Δx :

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{l}, \quad (2.3)$$

Отже

$$\Delta x = \frac{92-96}{3} = \frac{4}{3} = 1,33$$

Результати групування заносимо до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати групування значень початкового рівня шуму

Межі групи	Середина інтервалу	Частота спостережуваної події n_i	Відносна частота $\frac{n_i}{n}$
92-93	92	2	2/10
93-94	93,33	4	4/10
95-96	95,75	4	4/10

Для розрахунку числа значень, потрапивших в i -й інтервал, визначимо середнє арифметичне вибірки \bar{X} і середньоквадратичне відхилення S_x :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \quad (2.4)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x_j - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2.5)$$

Далі для кожного i -го інтервалу групування обчислюємо величину a_i і a_{i+1} :

$$a_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x},$$

$$a_{i+1} = \frac{X_{i+1} - \bar{X}}{S_x}, \quad (2.6)$$

де X_i - нижня межа i -го інтервалу;

X_{i+1} – верхня межа i -го інтервалу.

Тоді $a_1 = -1,805$; $a_2 = -0,853$; $a_3 = 0,093$

По таблиці [18] визначаємо значення коефіцієнта $\Phi(a_i)$, $\Phi(a_{i+1})$. В даному випадку маємо: $\Phi(a_1) = -0,983$; $\Phi(a_2) = -0,605$; $\Phi(a_3) = 0,058$

Далі визначаємо ймовірності P_i для кожного інтервалу групування [18]:

$$P_i = \frac{1}{2} (\Phi(a_{i+1}) - \Phi(a_i)). \quad (2.7)$$

Тоді $P_1 = \frac{1}{2} (-0,605 - (-0,983)) = 0,189$;

$$P_2 = \frac{1}{2} (0,058 - (-0,605)) = 0,332;$$

$$P_3 = 0,521$$

Для кожного інтервалу визначаємо теоретичні частоти nP_i :

$$nP_1 = 1,89; \quad nP_2 = 3,32; \quad nP_3 = 5,21$$

Результати розрахунку наведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку величини k

P_i	nP_i	h_i	$h_i - nP_i$	$\frac{(h_i - nP_i)^2}{nP_i}$
0,189	1,89	2	0,11	0,006
0,332	3,32	4	0,68	0,139
0,521	5,21	4	-1,21	0,0129

За формулою (2.2) знаходимо величину $k^2 = 0,157$. За довідковими даними знаходимо критичне значення k^2 при надійності $\alpha = 0,95$ $k_{кр}^2 = 9,49$. Так як $0,157$ значно менше ніж $9,49$ то достовірність вимірювання рівня шуму буде становити 95 %.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛУШНИКІВ

Згідно методики дослідження, що наведена в п.2.1, визначили початковий рівень шуму на відстані від газопроводу – 0,2 м.. Результати вимірювання заносимо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Початковий рівень шуму

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Рівень шуму, дБ	97	97	103	98	94	91	87	70

Оскільки не є доцільно встановлювати три глушники послідовно, то проектуємо комбінований глушник, який буде використовувати резонансний механізм гасіння та активну дію глушників. Конструкція глушників наведена на рис. 3.1:

- Блок один - в середині розташовано 2 ряди пластин під кутом 90° до осі газопроводу (рис.3.1а);
- Блок два - розташовано 2 ряди пластин під кутом 60° до осі газопроводу (рис. 3.1б);
- Блок три - розташовано 3 ряди пластин під кутом 60° до осі трубопроводу при відстані між рядами $(1/2 d)$ (рис. 3.1в);
- Блок чотири - в четвертому блоці розміщено 3 ряди пластин під кутом 60° до осі трубопроводу при відстані між рядами $(1/3 d)$ (рис.3.1 г).

Згідно рис. 3.2 та рис.3.3 найбільш ефективним типом глушників є блок 3. Найбільша ефективність такого глушника спостерігається все ж таки на частоті 1000 Гц. Але і на частоті від 63-1000 Гц та від 2000 Гц до 8000 Гц при використанні даного блоку вдається забезпечити допустимий рівень шуму. Найменшу ефективність має глушник конструкції 2 (блок 2).

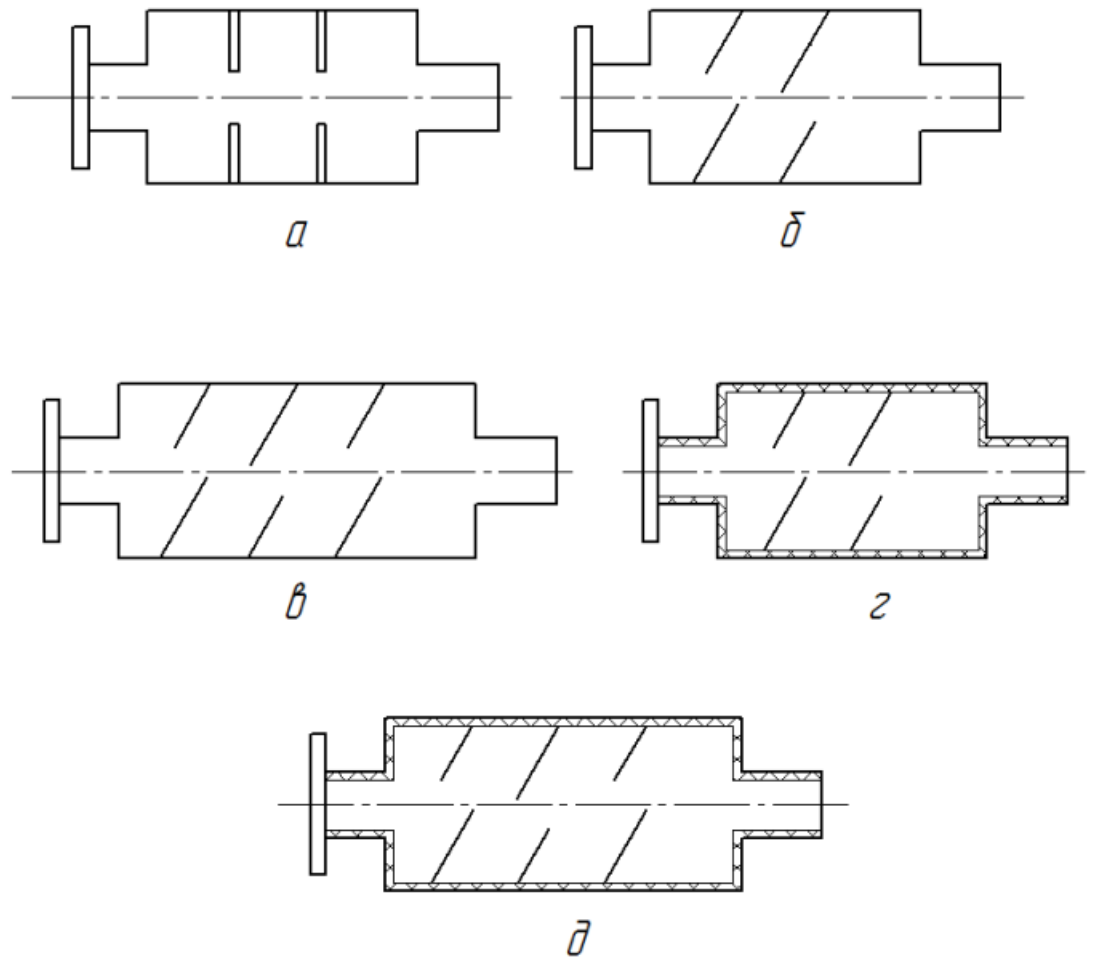


Рисунок 3.1 – Конструкція комбінованого глушника

Визначення залежності ефективності глушника від відстані, на якій встановлені пластини, одна від одної наведені на рис. 3.4 За результатами досліджень найбільшу ефективність має глушник конструкції 3. Але при частоті 1000-2000 Гц всі глушники показали спадання ефективності глушників, але вже з 2000 Гц відбувається плавне зростання їх ефективності (пік ефективності знаходиться на частоті 1000 Гц).

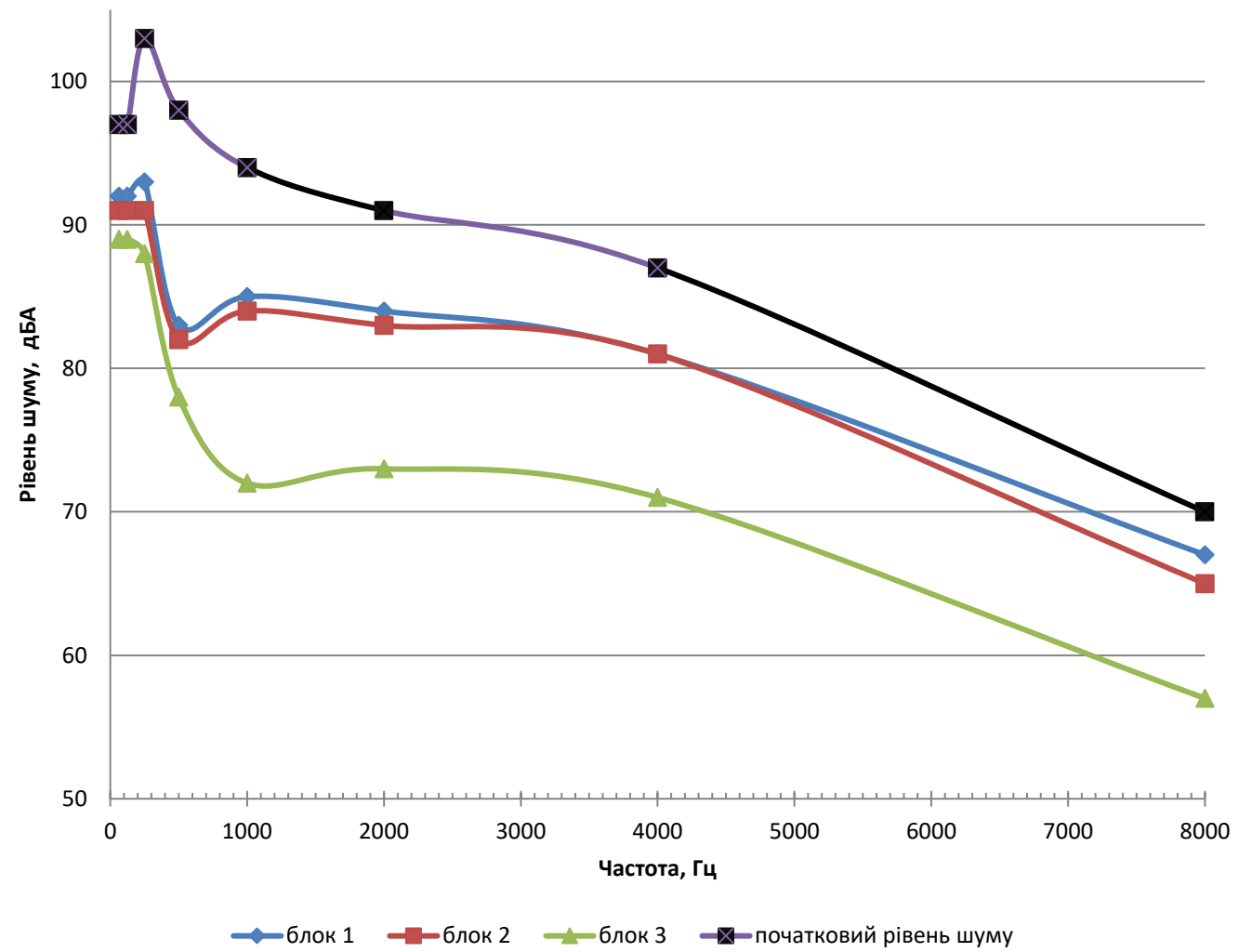


Рисунок 3.2 – Залежність ефективності глушників від його типу

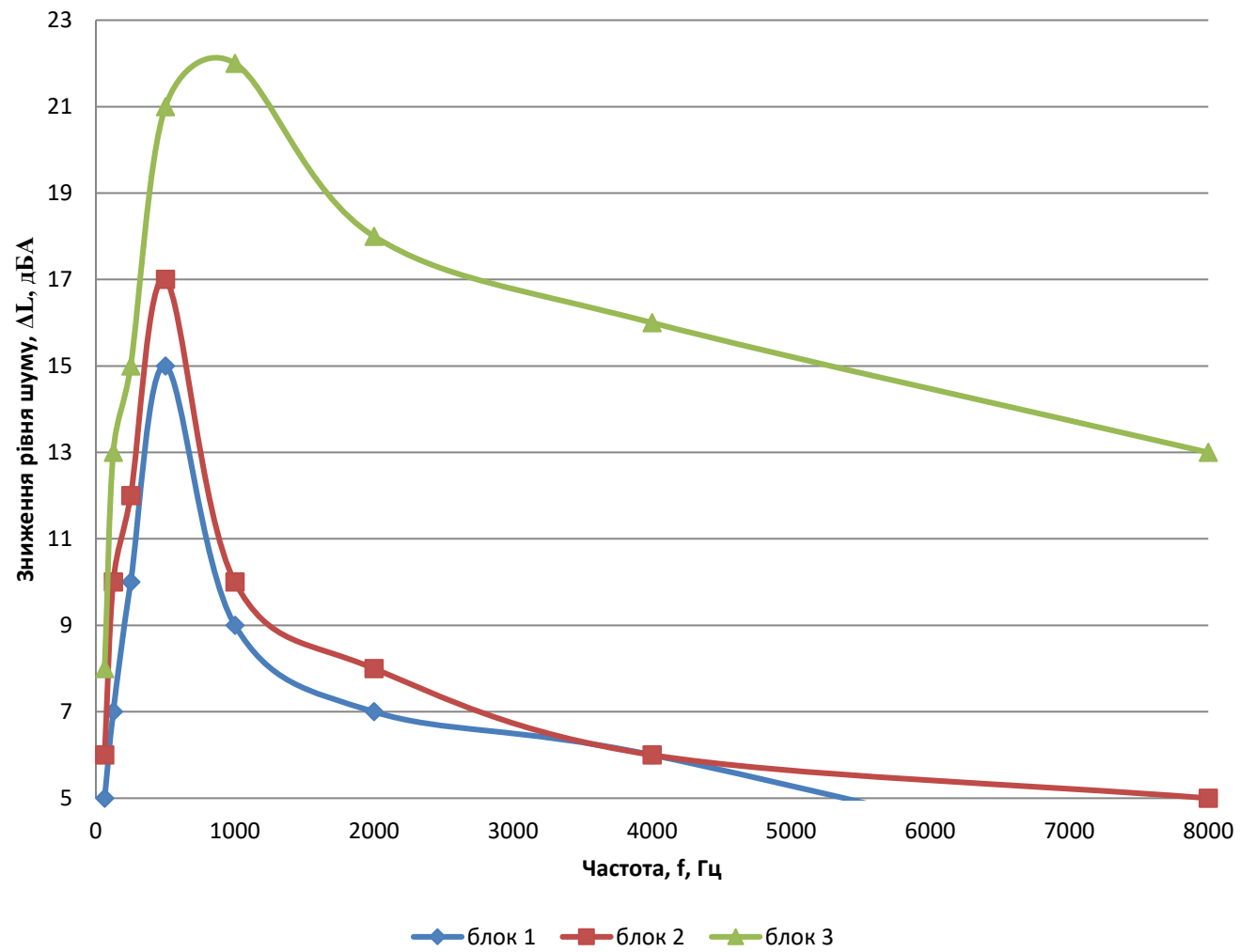


Рисунок 3.3 – Зниження рівня шуму від його типу блоків

Збільшення ефективності глушника досягається за рахунок обробки внутрішньої поверхні глушника звукопоглинальним матеріалом, товщина 5 мм (рис.3.5.). За результатами досліджень встановлено, що додаткова обробка внутрішньої поверхні глушника дозволяє збільшити ефективність глушника на частоті від 2000 до 8000 Гц на рівні 10-18,6 %.

Таким чином, за результатами досліджень встановлено, що найбільша ефективність глушника спостерігається на частоті 1000 Гц (рис. 3.6-3.8) .

За результатами досліджень визначено, що най більшу ефективність показав глушник конструкції – блок 3. Додаткова обробка внутрішньої поверхні глушника дозволить збільшити його ефективність у межах 2000-8000 Гц. Найбільшу ефективність дала обробка ЗПМ на частоті 8000 Гц.

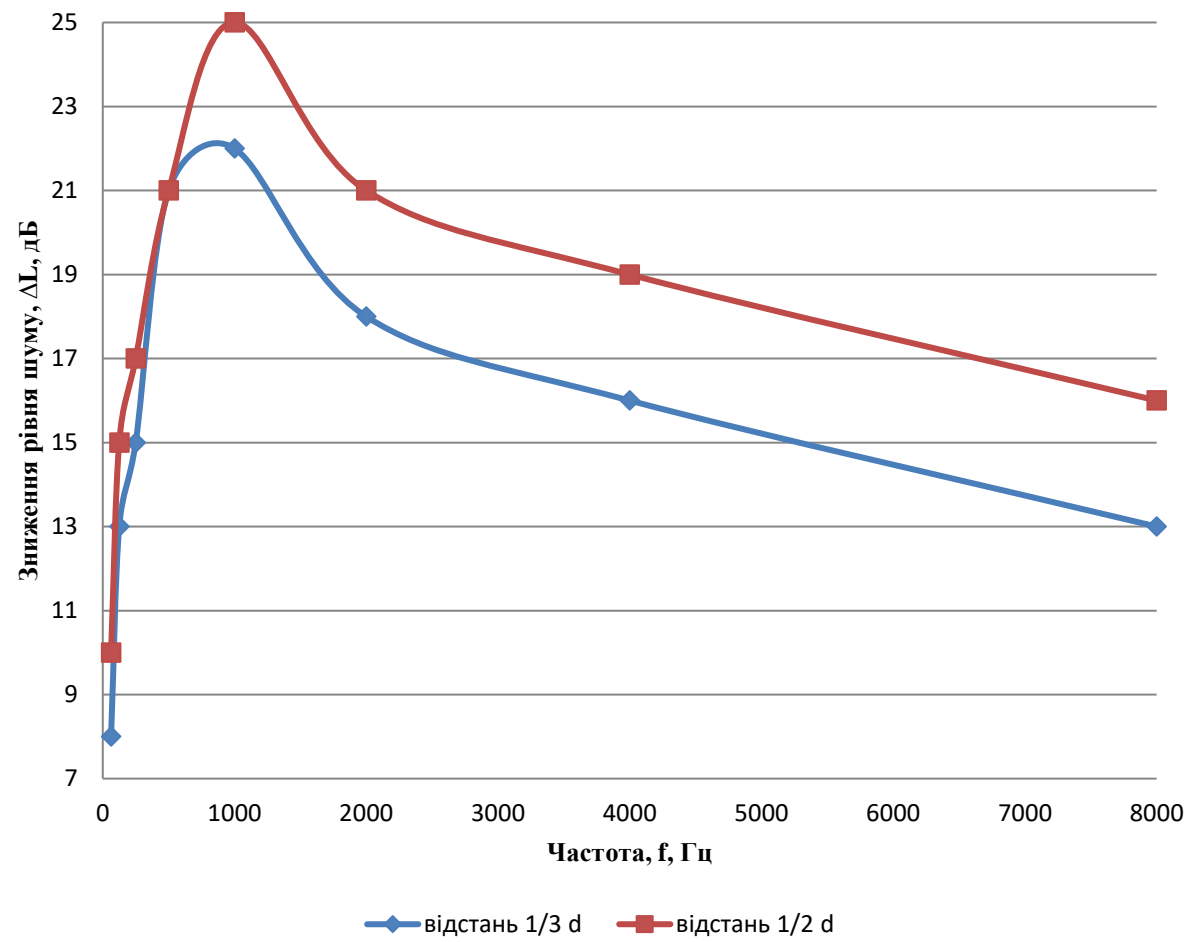


Рисунок 3.4 – Залежність ефективності глушника від відстані між пластинами

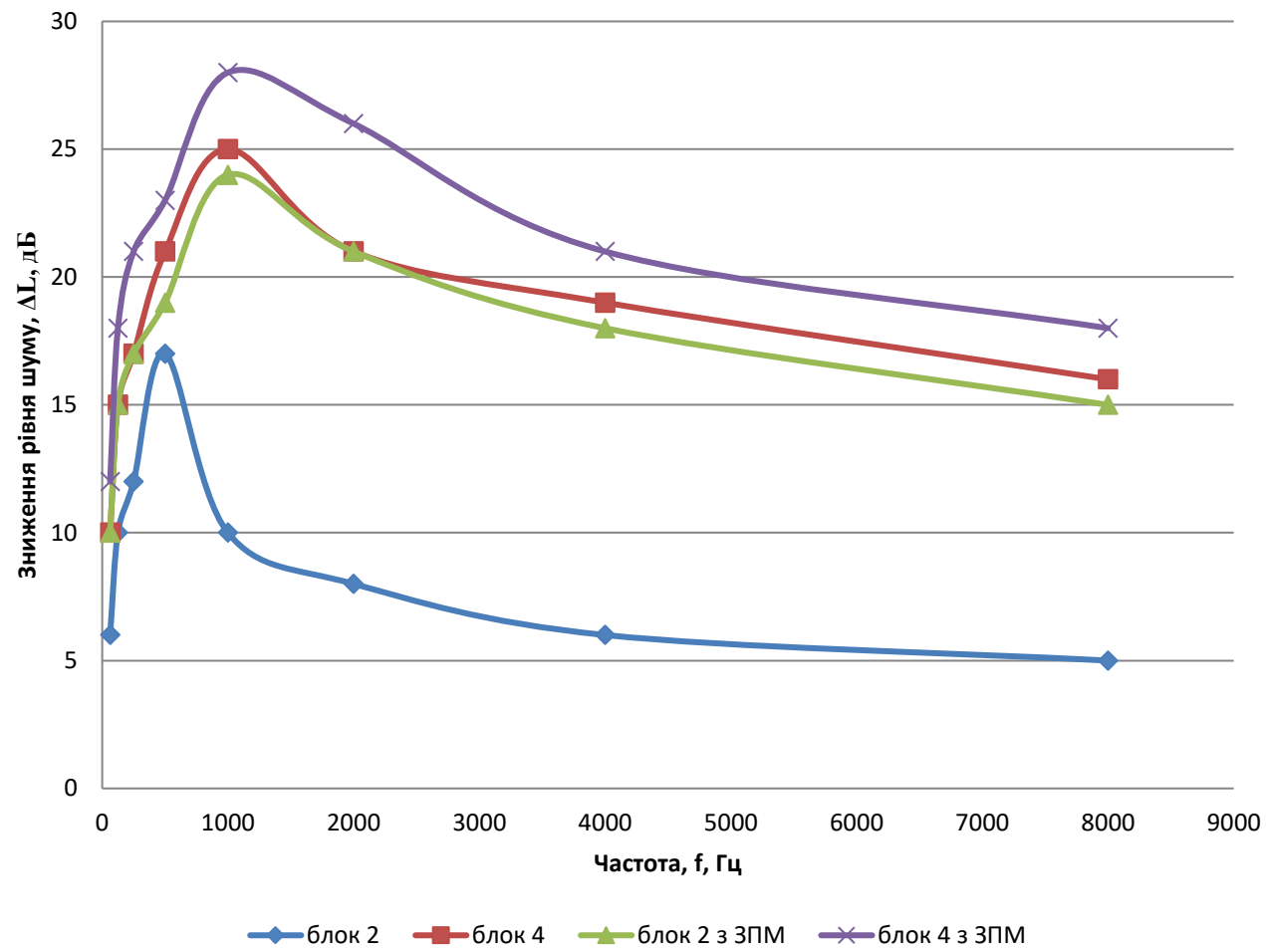


Рисунок 3.5 – Зниження рівня шуму за рахунок обробки внутрішніх стін глушника

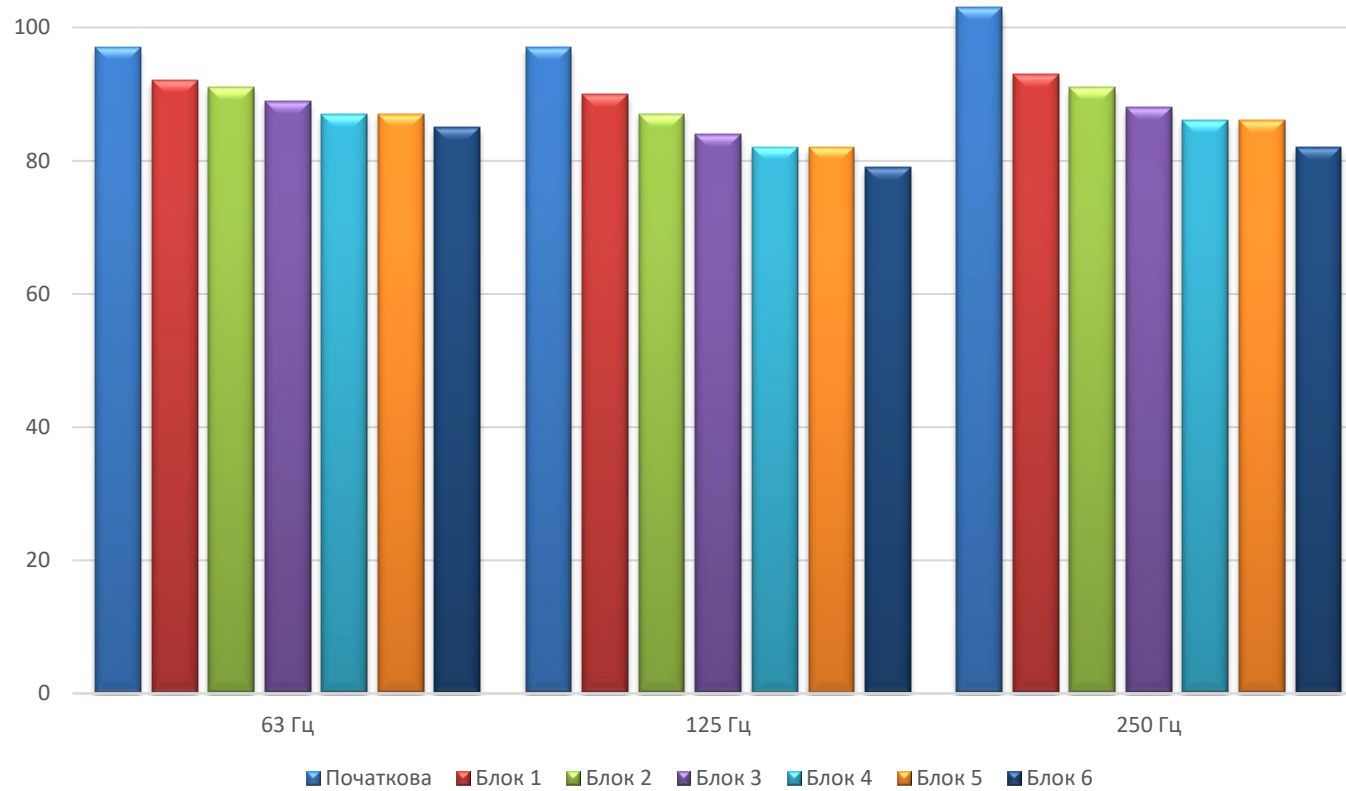


Рисунок 3.6 – Діаграма рівення шуму після різних видів глушників при частотах 63-250 Гц

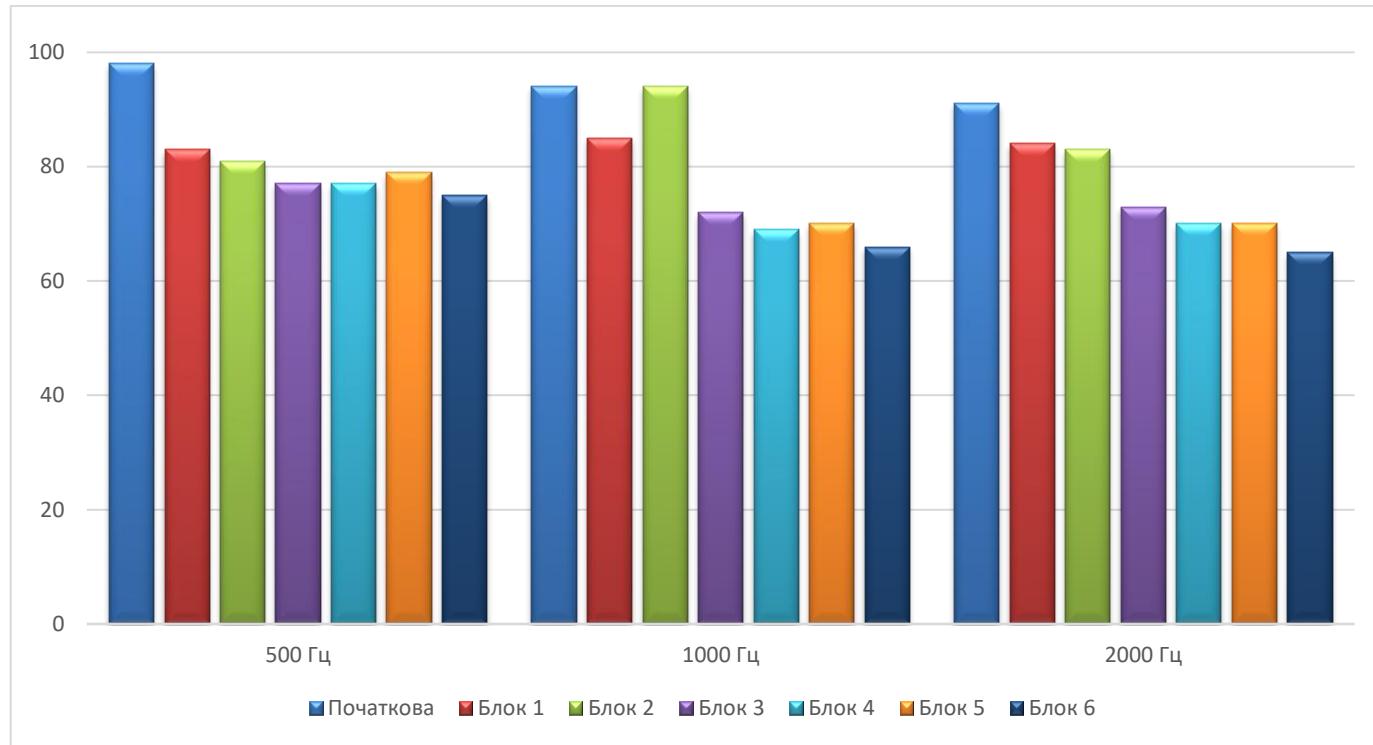


Рисунок 3.7 – Діаграма рівня шуму після різних видів глушників при частотах 500-2000 Гц

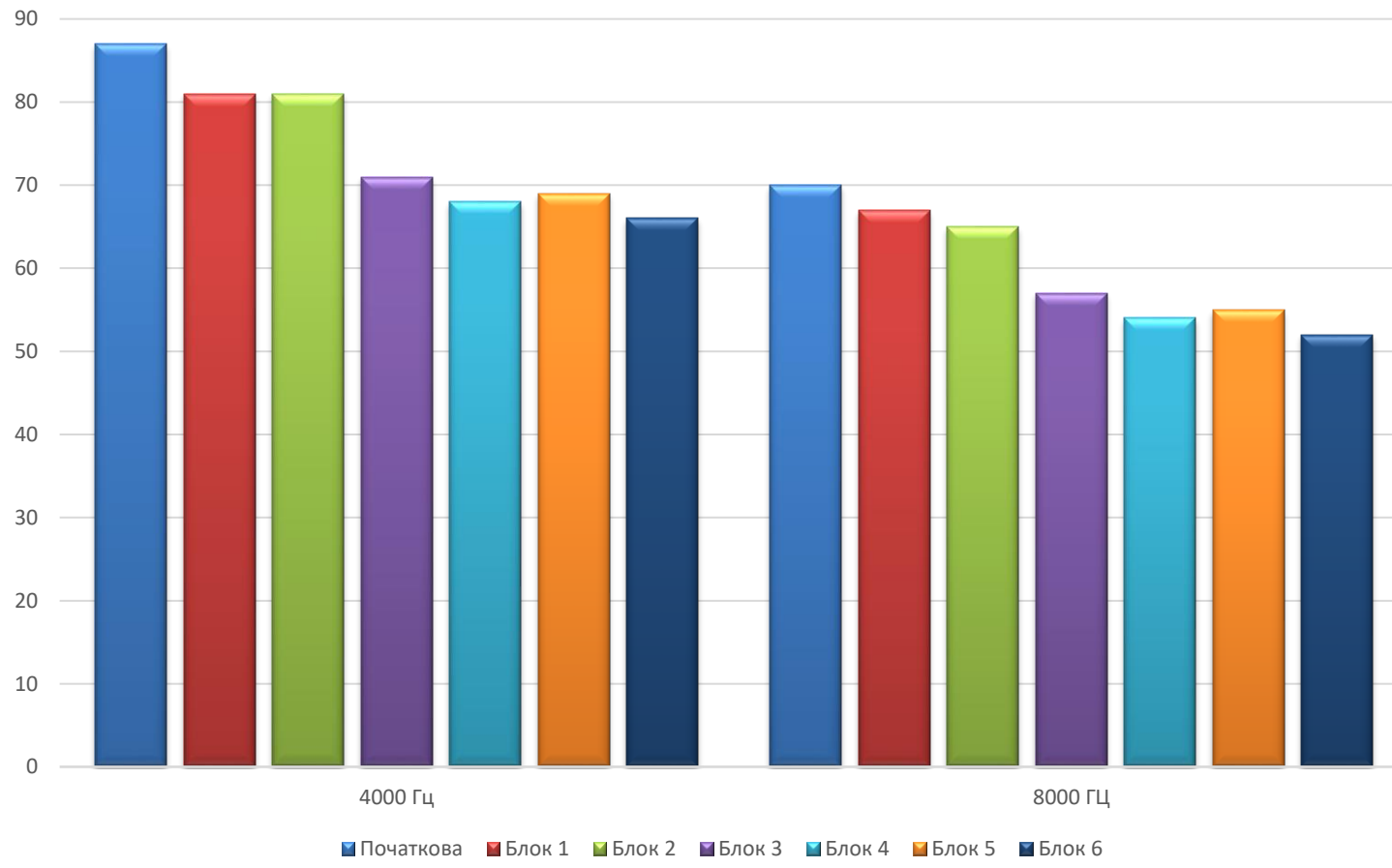


Рисунок 3.8 – Діаграма рівеня шуму після різних видів глушників при частотах 4000-8000 Гц

ВИСНОВКИ

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень були отримані наступні висновки:

1. Теоретично обґрунтовано встановлення комбінованого глушника, що використовує резонансний та активний принципи дії.

2. Обраховано, що експериментальні дослідження проведені з достовірною вірогідністю 0,95.

3. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що найбільшою акустичною ефективністю володіє глушник типу – блок 3.

4. Експериментально визначено, що максимальна акустична ефективність глушника спостерігається при відстані між пластинами $1/2d$ глушника.

5. Визначено, що максимально глушник типу блок 3 ефективен в діапазоні частот 63-1000 Гц.

6. Експериментально підтверджено, що обробка звукопоглинальним матеріалом внутрішньої поверхні глушника призведе до підвищення його ефективності на 10-18,6 % на частоті 2000-8000 Гц.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фонд соціального страхування України. URL: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/index>
2. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Чинний від 1999-12-01]. Київ, 2000. 29 с. (Міністерство здоров'я України).
3. Манидина Е.А., Белоконь К.В., Румянцев В.Р., Матухно Е.В. К вопросу снижения аэродинамического шума на промышленных предприятиях. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2013. № 1 (32). С.204–207.
4. Сухинин С.В. Распространение волн и резонансные явления в неоднородных средах. *прикладная механика и техническая физика*. 2001. Том 42, № 3 (247). С. 32-42.
5. ISO 14163:1998. Acoustics - Guidelines for noise control by silencers (MOD). [Дата введения 2007—04—01]. Москва : Стандартиформ, 2007. 42 с. (Официальное издание).
6. Защита от шума: справочник проектировщика / под ред. Е.Я. Юдина. Москва : Стройиздат, 1973. 134 с.
7. Заборов В.М., Клячко Л.Н., Росин Г.С. Защита от шума и вибрации в черной металлургии. Москва : Металлургия, 1988. 216 с.
8. ISO 11691 Acoustics - Measurement of insertion loss of dueled' silencers without flow - Laboratory survey method. August 23, 2007. 29 pp.
9. Григорьян Ф. Е., Перцовский Е. А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. Ленинград: Энергия. Ленингр. отделение, 1980. 120 с.
10. Стальные трубы бесшовные горячекатаные ГОСТ 8732-78. URL: <http://sbk.ltd.ua/ru/sortament-ves-metalloprokata/194-stalnye-truby-besshovnye-gorjachedeformirovannye-gost-8732-78-razmery-i-ves.html> (дата звернення 21.04.2022).

11. Технические таблицы. Скорость звука в воздухе при различной температуре. URL: <http://tehtab.ru/guide/guidephysics/sound/soundspeedairtemperature> (дата звернення 01.05.2022).
12. Дунаев А.С., Шлычков В.И. Специальные функции. В 2 ч. Часть 2 : справочник для вузов. Екатеринбург : 2018. 520 с.
13. Алексеев Борьба с шумом и вибрации в машиностроении. М. : Машиностроение, 1970. 208 с.
14. Защита от шума и вибрации. URL: <http://www.acoustic.ua/recommendations/453> (дата звернення 15.04.2022).
15. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. [Чинний від 2014-06-01]. Київ, 2014. 85 с. (Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України).
16. Юдин Е.А. Борьба с шумом на производстве : справочник. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
17. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник. М. : Логос, 2008. 424 с.
18. Агаянц, И.М. Азы статистики в мире химии: Обработка экспериментальных данных. :Санкт-Петербург: НОТ, 2015. 614 с.
19. Манідіна Є.А. Кваліфікаційна робота: методичні рекомендації до написання, оформлення та захисту кваліфікаційної роботи для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 263 «Цивільна безпека» освітньо-професійної програми «Охорона праці». Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 54 с.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ: ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГЛУШНИКІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ

ВИКОНАЛА:

СТ. ГР. ЦБ-17БЗ КУРСЬКИХ О.М.

КЕРІВНИК:

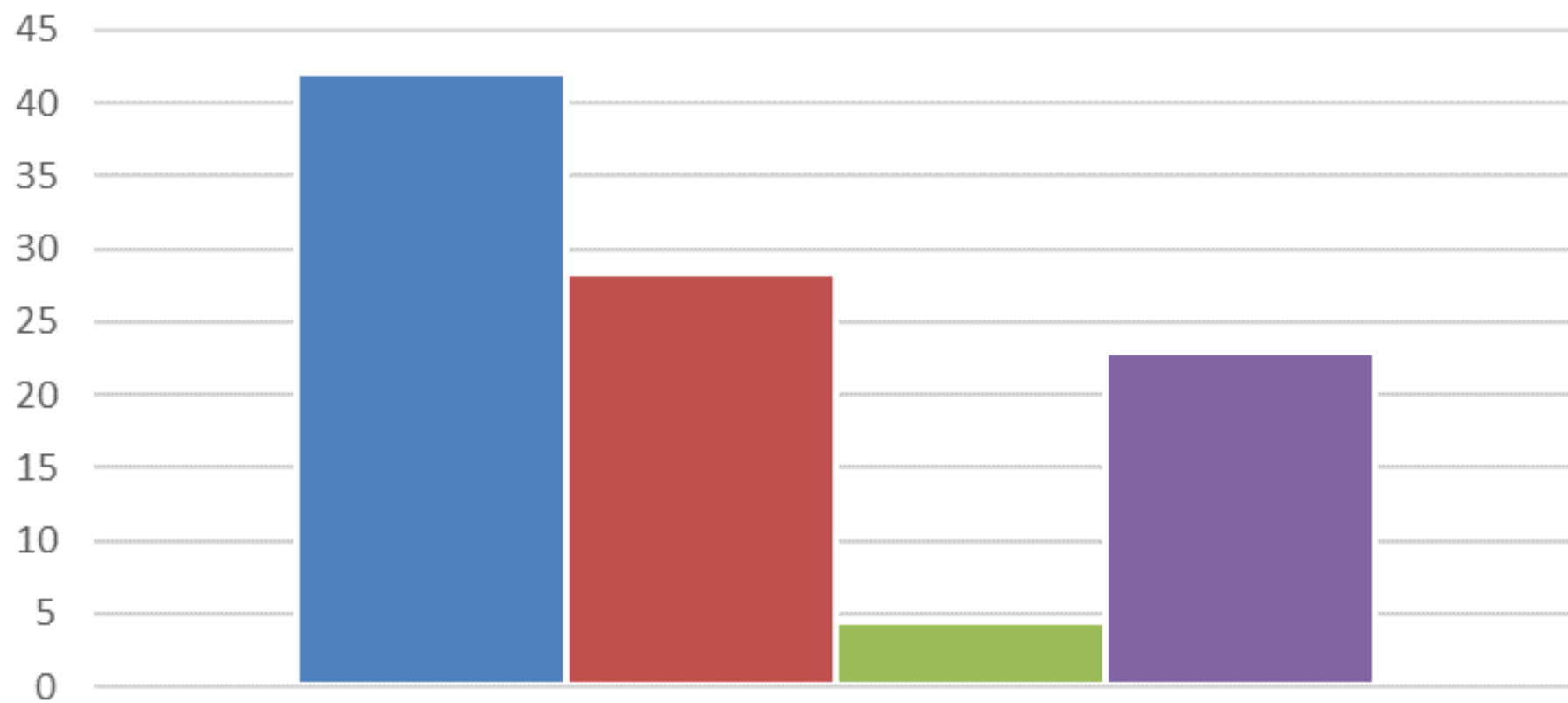
К.Т.Н., ДОЦ. КАФ. ПЕОП МАНІДІНА Є.А.

2022

МЕТА, ЗАВДАННЯ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

- **МЕТОЮ** КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Є РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ГЛУШНИКА, ЯКА Б ДОЗВОЛЯЛА ЗНИЖУВАТИ РІВЕНЬ ТОНАЛЬНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ В ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ЧАСТОТ.
- ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ МЕТИ НЕОБХІДНО РОЗВ'ЯЗАТИ НАСТУПНІ **ЗАВДАННЯ**: ВСТАНОВИТИ ПАРАМЕТРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА АКУСТИЧНІ Й АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛУШНИКІВ; ДОСЛІДИТИ ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЛУШНИКА, ЗАПРОЕКТОВАНОГО В РОБОТІ, В РІЗНИХ ДІАПАЗОНАХ ЧАСТОТ.
- **ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ** – КОНСТРУКЦІЇ ГЛУШНИКІВ ТОНАЛЬНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ.
- **ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ** – РІВЕНЬ ЗВУКОВОГО ТИСКУ ТА АКУСТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЛУШНИКА.

РОЗПОДІЛ ПРОФЕСІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ



Чатка у загальній кількості, %

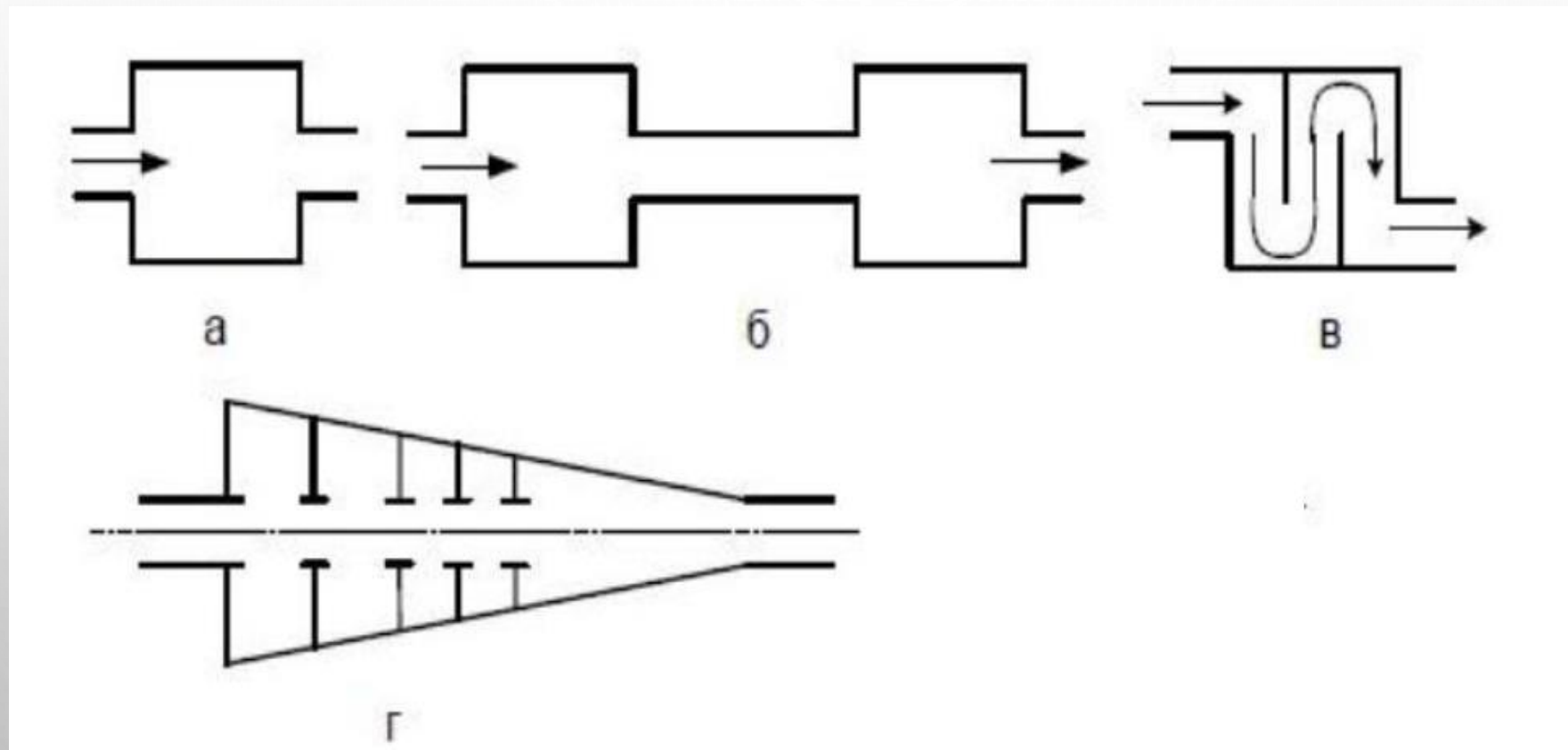
■ хвороби органів дихання

■ хвороби опорно-рухового апарату

■ вібраційна хвороба

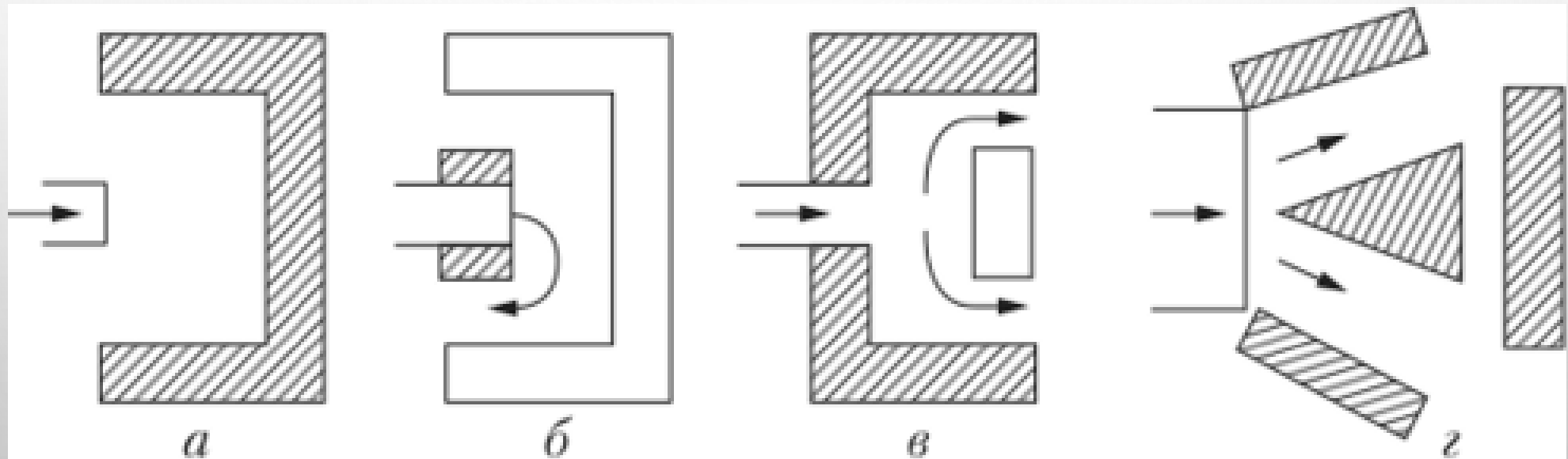
■ хвороби слуху

ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЇ ГЛУШНИКІВ



а, б – камерні глушники, в – лабіринтний глушник, г – резонансний глушник

КОНСТРУКЦІЇ ЕКРАННИХ ГЛУШНИКІВ



ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ГЛУШНИКА

$$\Delta L = 10 \lg \left[1 + \frac{K_0 \cdot V}{4S \left(f / f_p - f_p / f \right)^2} \right].$$

де V – об'єм резонансної камери, м^3 ; S – площа перетину трубопроводу, м^2 ; f , f_p – поточна та резонансна частота, Гц, відповідно.

Спектр шуму відцентрового нагнітача 8500-11-1

Параметр	Чисельне значення							
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Рівень звукового тиску, дБ	94	94	104	92	88	82	76	68

Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот L_d , та їх перевищення за роботи відцентрового нагнітача 8500-11-1, ΔL

Параметр	Чисельне значення							
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta L_{d'}$, дБ	90	82	77	73	70	68	66	64
$\Delta L_{п'}$, дБ	4	12	27	19	18	14	10	4

ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ТИСКУ ЗВУКУ НА РІЗНИХ ЧАСТОТАХ

Таблиця 1 - Результати розрахунку першого глушника

Параметр	Числове значення							
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL , дБ	10	18	40	18	10	5	2	1
Рівень звукового тиску	84	76	64	74	78	77	74	67
ΔL_n , дБ	-	-	-	1	8	9	8	3

$$D = 0,19 \text{ м}; S = 0,028 \text{ м}^2$$

$$n = 10; d_0 = 0,06 \text{ м};$$

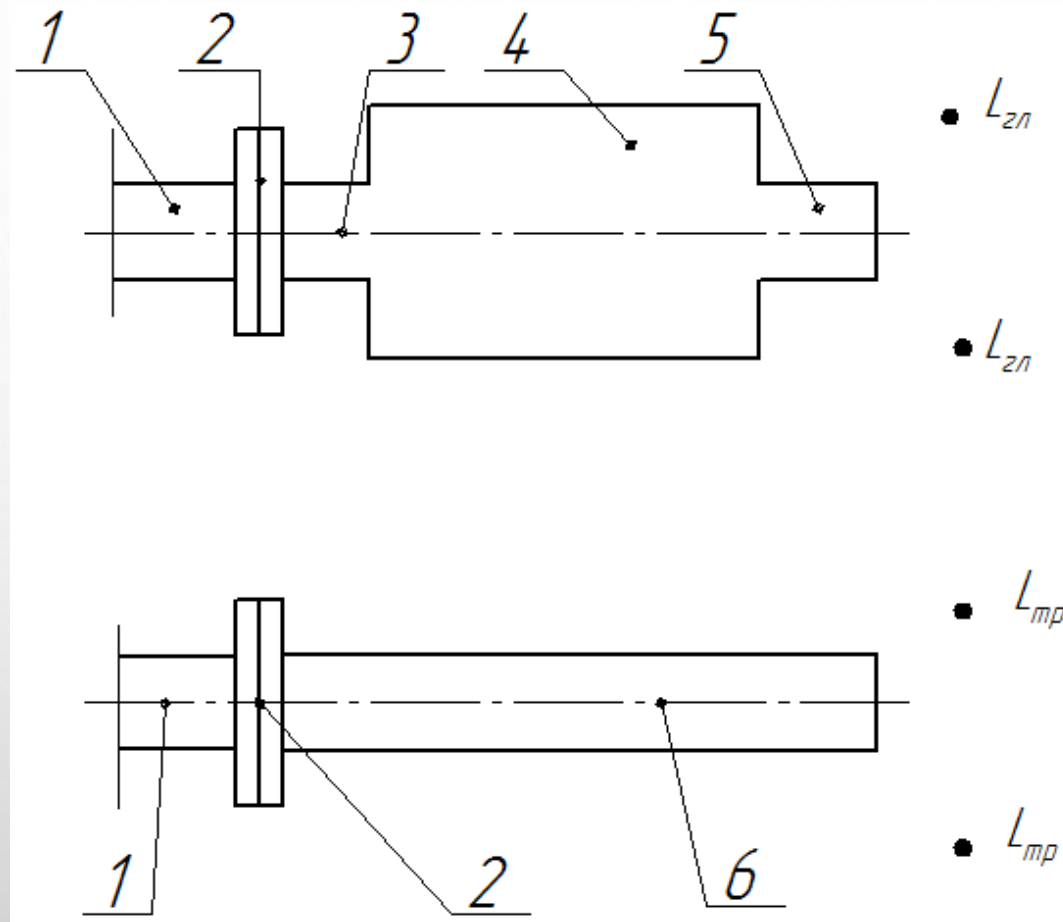
$$a = 0,075 \text{ мм}; l_0 = 0,0065 \text{ м}$$

Таблиця 2 - Результати розрахунку другого глушника

Параметри	Числове значення							
Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL	0	1	2	7	40	7	2	1
Рівень звукового тиску	84	75	62	67	38	70	72	66
ΔL_n	-	-	-	-	-	2	6	2

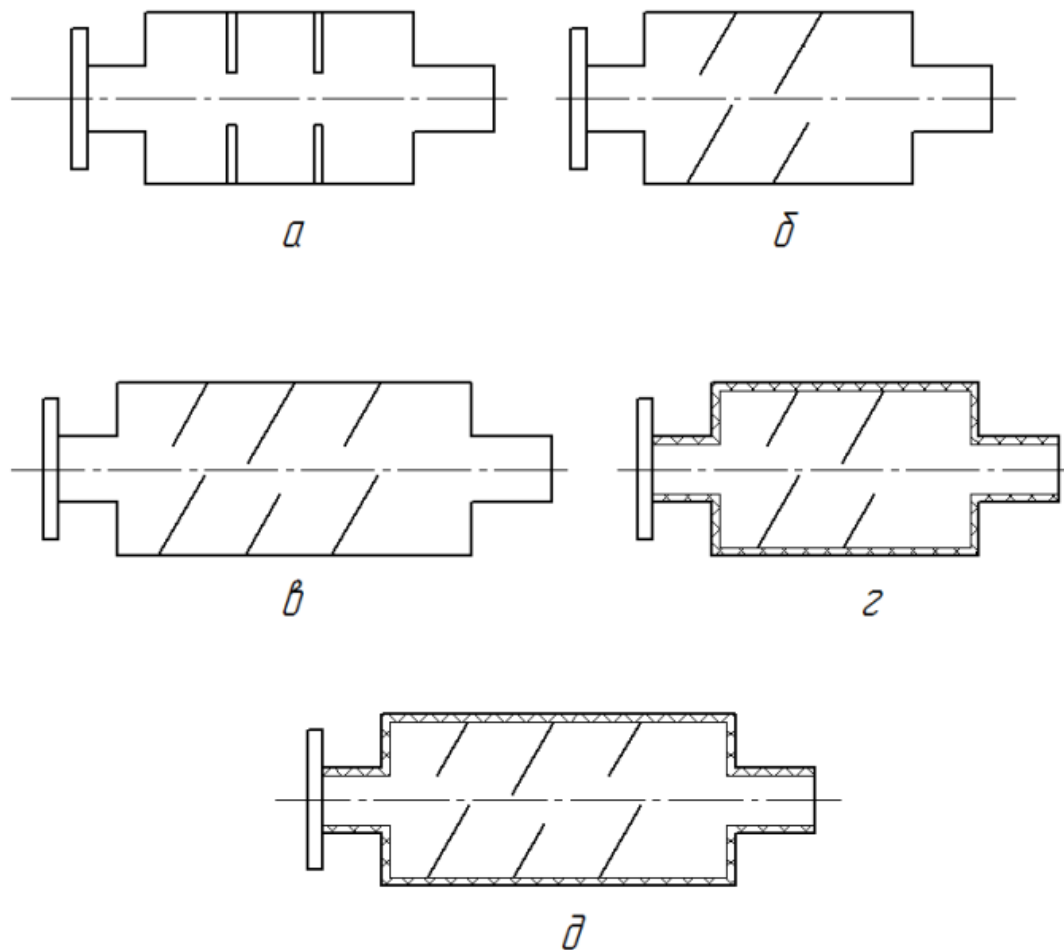
СХЕМА ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ

7

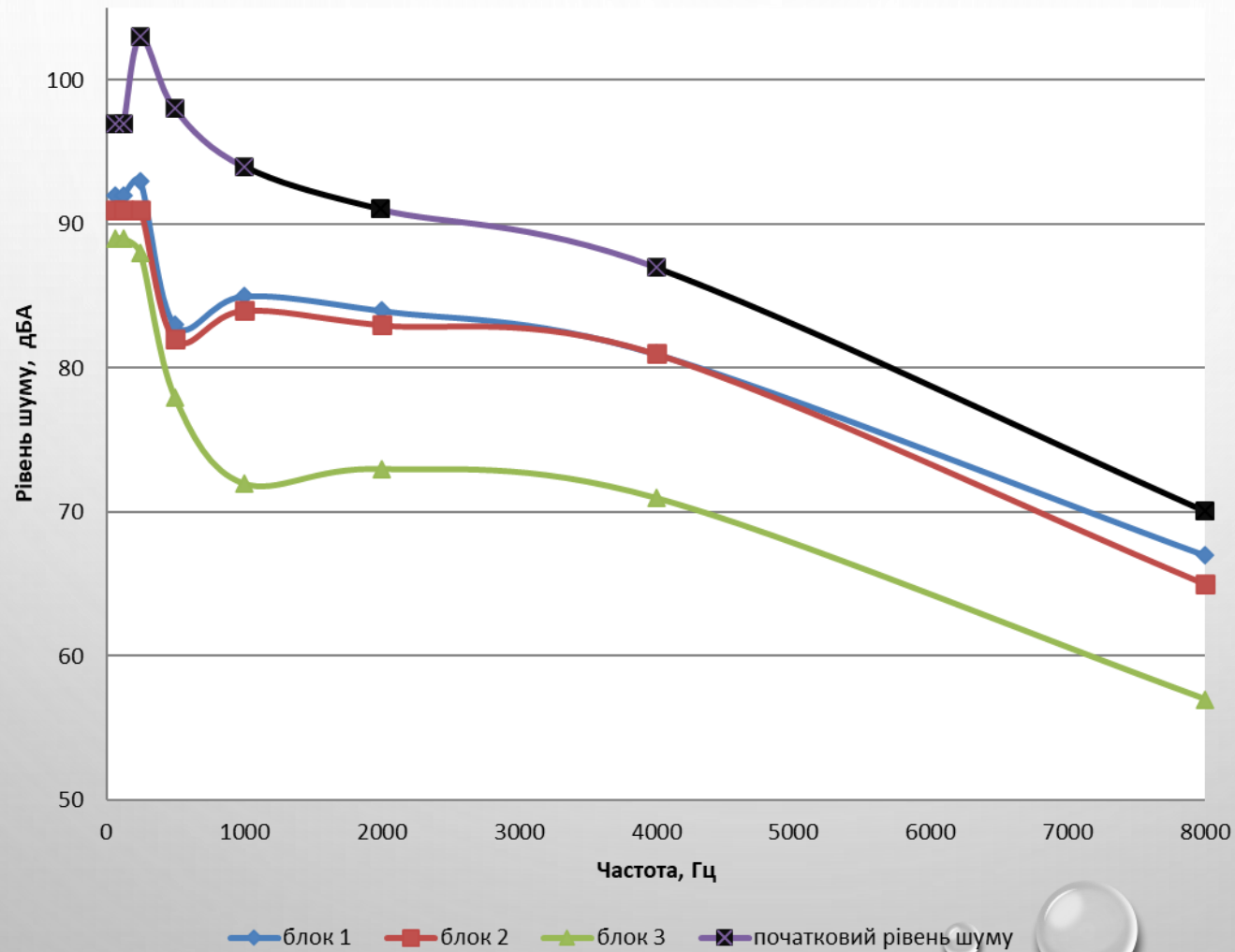


1 – трубопровід; 2 – глушник; 3 – вхідний патрубок глушника; 4 – глушник;
5 – вихідний патрубок глушника; 6 – трубопровід

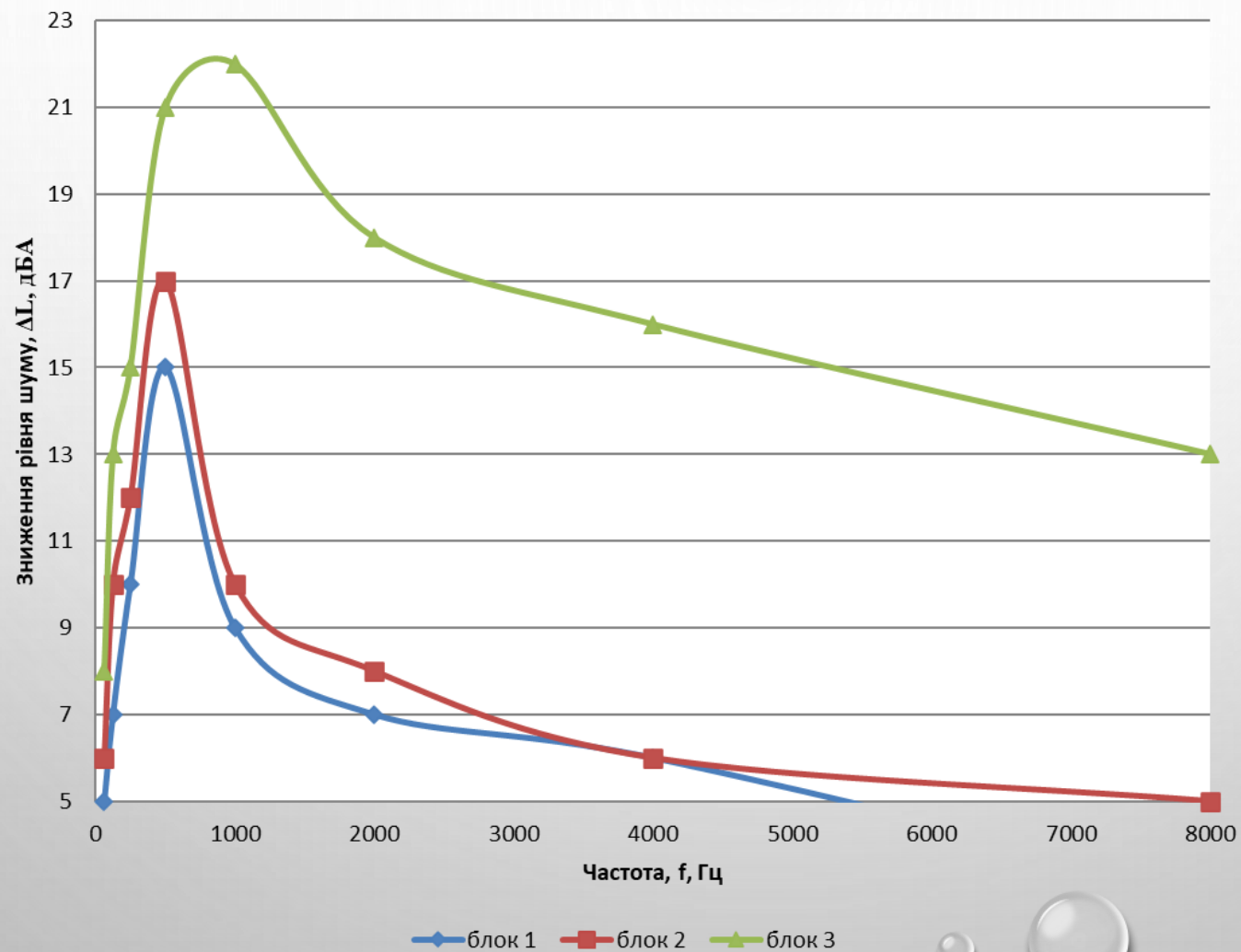
КОНСТРУКЦІЇ БЛОКІВ ГЛУШНИКА, ЯКИЙ ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ



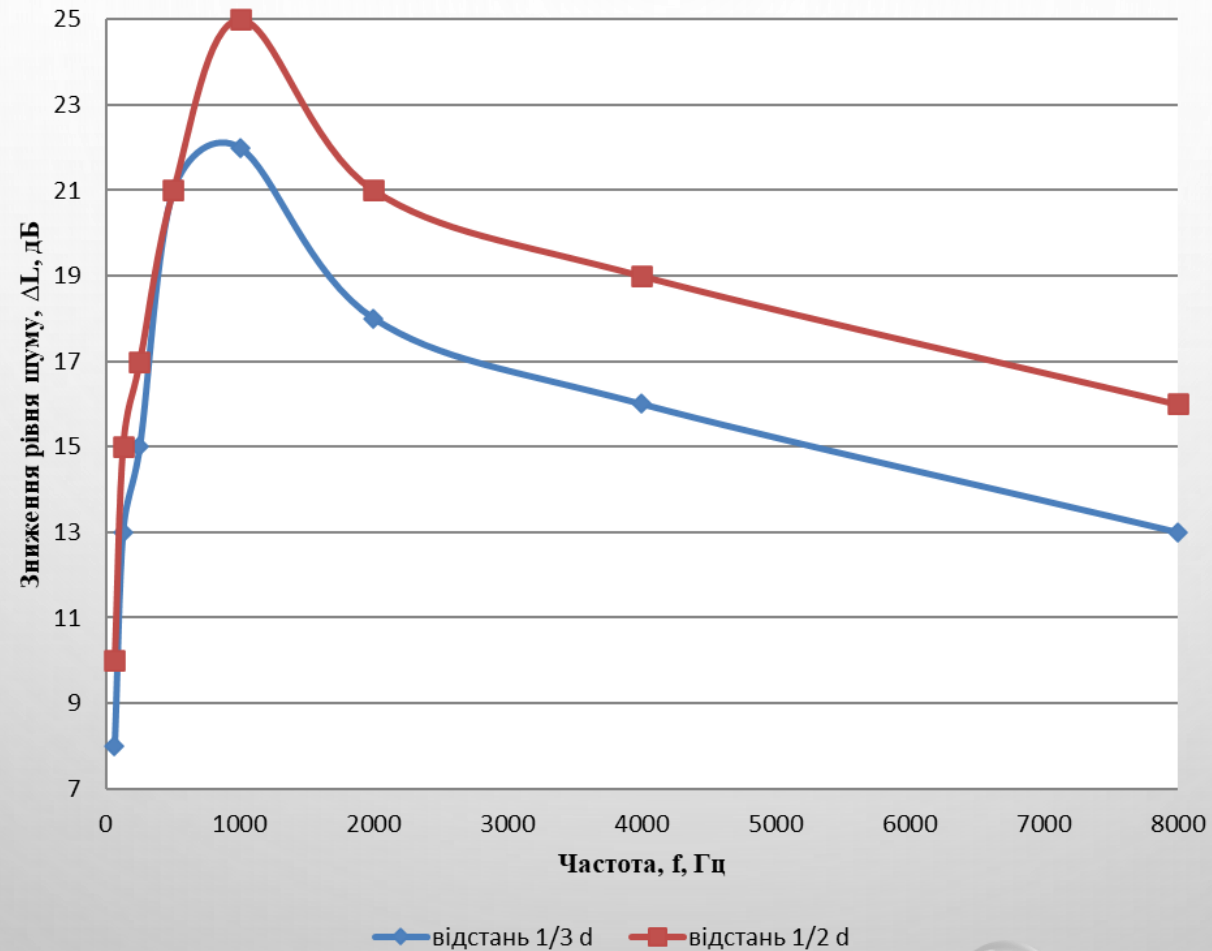
АКУСТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЛУШНИКА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПУ БЛОКІВ (РІВЕНЬ ШУМУ)



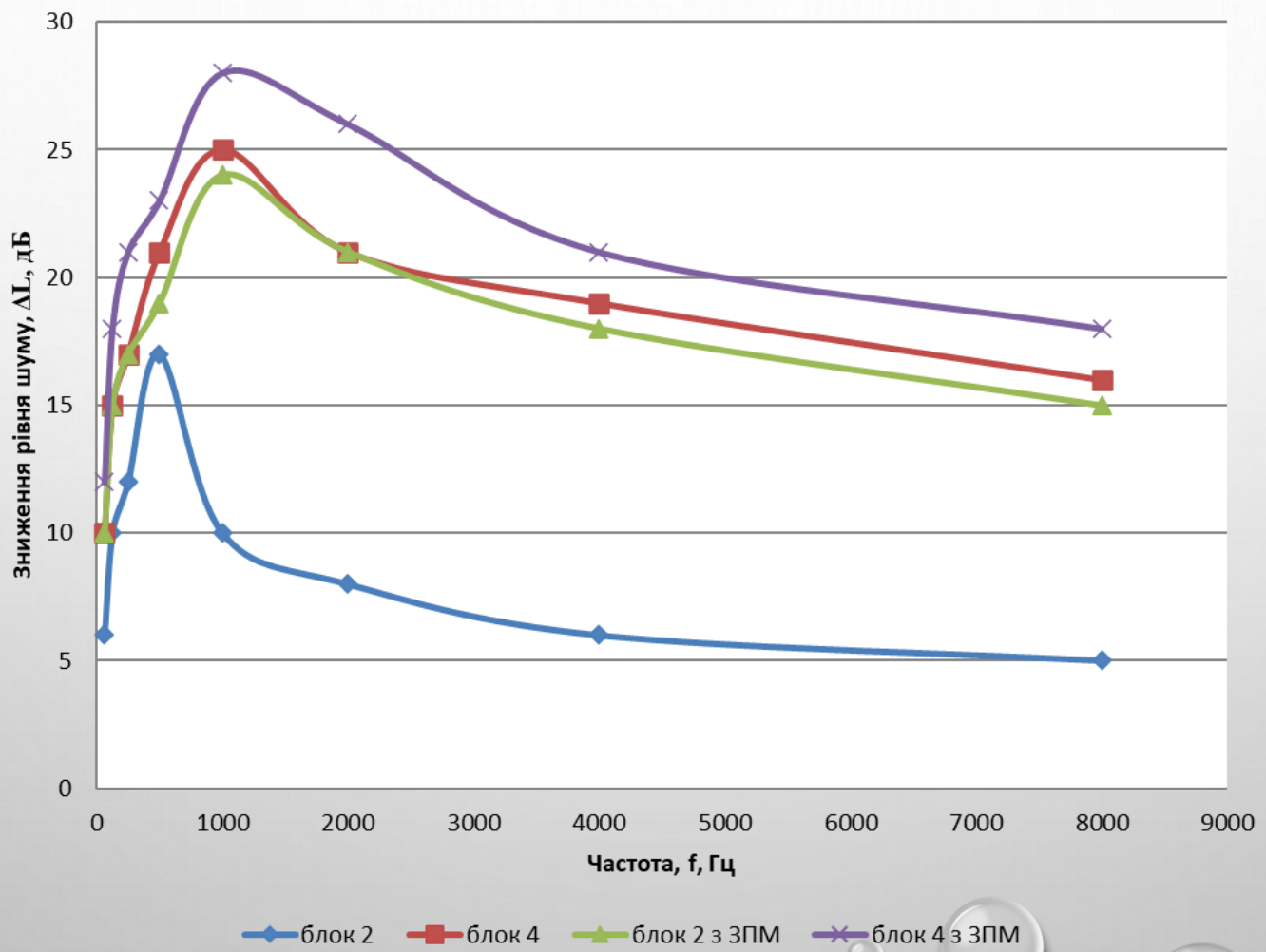
АКУСТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЛУШНИКА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПУ БЛОКІВ (РІВЕНЬ ШУМУ)



ЗАЛЕЖНІСТЬ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ ВІД ВІДСТАНИ МІЖ РЯДАМИ ПЛАСТИН ГЛУШНИКА



ВПЛИВ ОБРОБКИ ВНУТРІШНІХ СТІН ЗА ДОПОМОГОЮ ЗПМ НА АКУСТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЛУШНИКА



ВИСНОВКИ

- В РЕЗУЛЬТАТІ ПРОВЕДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БУЛО РОЗВ'ЯЗАНЕ НАУКОВЕ ЗАВДАННЯ І ОТРИМАНО НАСТУПНІ ВИСНОВКИ:
 1. ТЕОРЕТИЧНО ВСТАНОВЛЕНО, ЩО ДЛЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ ВСТАНОВЛЮВАТИ ПОСЛІДОВНО ДВА РЕЗОНАНСНИХ ГЛУШНИК НЕДОЦІЛЬНО.
 2. ВИЗНАЧЕНО, ЩО ДЛЯ ГАСІННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ В ДІАПАЗОНІ НИЗЬКИХ ЧАСТОТ ДОЦІЛЬНО ВСТАНОВЛЮВАТИ СИСТЕМУ ГЛУШНИКІВ, ЯКА СУМІСНО ВИКОРИСТОВУЄ АКТИВНИЙ МЕТОД І МЕТОД РЕЗОНАНСНОГО ГАСІННЯ ШУМУ;
 3. В РЕЗУЛЬТАТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВСТАНОВЛЕНО, ЩО НАЙМЕНШИЙ РІВЕНЬ АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ СПОСТЕРІГАЄТЬСЯ ПРИ ВИКОРИСТАНІ ГЛУШНИКА, ЯКИЙ МАЄ 3 РЯДИ ПЛАСТИН ПІД КУТОМ 60° ДО ОСІ ТРУБОПРОВОДУ.
 4. ВСТАНОВЛЕНО, ЩО ПРИ ЗБІЛЬШЕНІ ВІДСТАНІ МІЖ ПЛАСТИНАМИ З 1/3D ДО 1/2D СПОСТЕРІГАЄТЬСЯ МАКСИМАЛЬНЕ ЗБІЛЬШЕННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛУШНИКІВ ДО 19 % ПРИ ЧАСТОТІ 63-2000 ГЦ.
 5. В РЕЗУЛЬТАТІ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИЗНАЧЕНО, ЩО ДЛЯ ОТРИМАННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ В ДІАПАЗОНІ НИЗЬКИХ ЧАСТОТ ДОЦІЛЬНО ВИКОРИСТОВУВАТИ КОМБІНОВАНИЙ ГЛУШНИК, В ЯКОМУ В ЯКОМУ РОЗМІЩЕНО 3 РЯДИ ПЛАСТИН ПІД КУТОМ 60° ДО ОСІ ТРУБОПРОВОДУ ПРИ ВІДСТАНІ МІЖ РЯДАМИ 1/2 ДІАМЕТРА ГЛУШНИКА З ДОДАТКОВОЮ ОБРОБКОЮ ЙОГО ВНУТРІШНІХ СТІН ЗВУКОПОГЛИНАЛЬНИМ МАТЕРІАЛОМ ТОВЩИНОЮ 5 ММ.