

Національний лісотехнічний університет України
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини
та безпеки життєдіяльності

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи
на тему : **«АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗНИЖЕННЯ ШУМОВОГО
ЗАБРУДНЕННЯ СЕЛІТЕБНОЇ ТЕРИТОРІЇ,
СПРИЧИНЕНОГО ДІЯЛЬНІСТЮ ПРОМИСЛОВОГО
ПІДПРИЄМСТВА»**

Виконав: студент VI курсу, групи ТЗНС-61м

спеціальності: 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»

Кобрин Василь Богданович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник: Сторожук Віктор Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

канд. техн. наук, доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

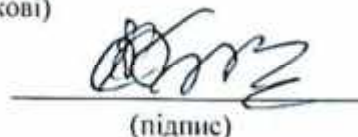

(підпис)

Рецензент: Ференц Олег Богданович

(прізвище, ім'я, по батькові)

канд. техн. наук, доцент

(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

м. Львів – 2025 рік

Національний лісотехнічний університет України

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини
та безпеки життєдіяльності

Освітній ступінь: Магістр

Спеціальність: 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД

проф. Б.Я. Кшивецький

“15” 05 2025 року



ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Кобрина Василя Богдановича

1. Тема роботи: «Аналіз шляхів зниження шумового забруднення селітебної території, спричиненого діяльністю промислового підприємства».
2. Керівник роботи: Сторожук Віктор Миколайович, канд. техн. наук, доцент
затверджені наказом по університету від «15» травня 2025 р., № С-316.
3. Термін подання студентом роботи: до «1» грудня 2025 року.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Анотація. Вступ. Аналіз стану питання та завдання досліджень. Теоретичні дослідження. Експериментальні дослідження. Заходи захисту довкілля. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки. Практичні рекомендації.
6. Перелік графічного матеріалу. Презентація магістерської роботи у вигляді слайдів, представлених у програмі “PowerPoint”.

7. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	доц. Сторожук В.М.		

8. Дата видачі завдання: «2» червня 2025 року.

9. Календарний план роботи із зазначення всіх видів робіт.

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Вступ. Стан питання щодо шумового забруднення навколишнього середовища виробничими джерелами. Вплив шуму на людину та довкілля.	до 22.08.2025	Виконано
2.	Теоретичні дослідження. Основні джерела емісії виробничого шуму, причини виникнення та природа. Закономірності поширення шуму.	до 05.09.2025	Виконано
3.	Експериментальні дослідження шумового забруднення довкілля. Акустичні вимірювання. Проведення досліджень у виробничих умовах.	до 19.09.2025	Виконано
	Результати досліджень. Заходи захисту довкілля від шумового забруднення.	до 10.10.2025	Виконано
4.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	до 24.10.2025	Виконано
5.	Загальні висновки. Додатки. Список використаних джерел.	до 29.10.2025	Виконано
6.	Оформлення магістерської роботи.	до 01.11.2025	Виконано

Здобувач: Кобрин Василь Богданович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник: Сторожук Віктор Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)
канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	6
ANNOTATION	8
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ	12
1.1. Основні джерела шумового забруднення довкілля	12
1.2. Вплив шуму на людину	17
1.3. Вплив шуму на навколишнє природне середовище	21
Висновки до розділу	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	24
2.1. Основні аспекти емісії виробничого шуму	24
2.2. Причини виникнення та природа механічного шуму	25
2.3. Причини виникнення та природа аеродинамічного шуму	32
2.4. Поширення звуку на відкритому просторі	37
Висновки до розділу	43
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	45
3.1. Передумови акустичних вимірювань	45
3.2. Апаратура для акустичних вимірювань	50
3.3. Проведення досліджень у виробничих умовах.....	55
3.3.1. Опис підприємства з розглядом основних емітентів виробничого шуму, який поширюється в напрямі житлової забудови	55
3.3.2. Аналіз основних джерел шуму та засобів звукоізоляції	59
Висновки до розділу	63
РОЗДІЛ 4. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ	65
4.1. Передумови зниження шумового забруднення довкілля	65
4.1.1. Основні шляхи захисту навколишнього середовища від шумового забруднення	65

4.1.2. Визначення необхідної величини зниження рівня шуму	66
4.2. Зниження емісії шуму в джерелі виникнення	69
4.3. Зниження шуму на шляху поширення	71
4.3.1. Заходи зниження шуму на шляху поширення	71
4.3.2. Зниження шуму за допомогою акустичних екранів	73
4.3.3. Забезпечення ефективності акустичного екрана	78
Висновки до розділу	86
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	88
5.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	88
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	91
5.3. Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	97
5.4. Охорона навколишнього природного середовища	100
Висновки до розділу	102
ВИСНОВКИ.....	104
ДОДАТКИ	106
Додаток А. Характеристика розташування підприємства	106
Додаток Б. Результати інструментального контролю акустичного забруднення території житлової забудови від роботи виробничого устаткування підприємства СП «Галка-ЛТД»	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	109

АНОТАЦІЯ

Темою магістерської роботи є «Аналіз шляхів зниження шумового забруднення селітебної території, спричиненого діяльністю промислового підприємства».

Актуальність теми зумовлена наявністю низки чинників, які призводять до шумового забруднення навколишнього середовища, одними з найбільш інтенсивних джерел якого є підприємства виробничої сфери.

Метою дослідження є забезпечення зниження акустичної активності на межі санітарно-захисної зони підприємства шляхом вибору оптимальних заходів та засобів, чому передують вивчення стану проблеми і визначення напрямів подальших досліджень, проведення ідентифікації джерел емісії виробничого шуму, дослідження його природи, характеру, інтенсивності та спектрального складу, а також аналіз способів і засобів зниження акустичної активності.

Об'єктом дослідження є акустичні аспекти впливу виробничої діяльності підприємства на навколишнє середовище.

Предметом дослідження є методи, способи і засоби зниження шумового забруднення селітебної території, спричиненого діяльністю промислового підприємства.

Для досягнення мети в роботі застосовані методи спостереження, вимірювання, порівняння.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування її результатів як на конкретному підприємстві, де проводились виробничі дослідження, так і на інших суб'єктах господарювання з урахуванням відповідних особливостей.

Магістерська робота складається з фахових розділів і спеціальної частини з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, п'ятьох розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел.

У вступі визначається актуальність теми, мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, а також проводиться короткий огляд поставленої задачі.

У першому розділі розглядаються основні джерела шумового забруднення довкілля та вплив шуму на людину і навколишнє природне середовище.

У другому розділі наведено хід і результати теоретичних досліджень щодо характеристик основних виробничих джерел емісії, а також природи та особливостей поширення виробничого шуму.

Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням емісії виробничого шуму, визначенню його рівня та шляхів поширення акустичного забруднення довкілля.

В четвертому розділі представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень причин, природи та шляхів зниження шумового забруднення навколишнього середовища з наведенням конкретних рекомендацій, підтверджених розрахунковим шляхом.

У спеціальній частині з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях йдеться про забезпечення охорони праці, виробничої санітарії та гігієни праці, пожежної та техногенної безпеки і цивільного захисту, а також охорони навколишнього природного середовища під час проведення наукових досліджень.

У висновках наведено результати аналізу проведеної роботи та отриманих результатів.

Магістерська робота містить 115 сторінок, 18 рисунків, 7 таблиць, 50 джерел інформації, 2 додатки.

ANNOTATION

The topic of the master's thesis is "Analysis of ways to reduce noise pollution in a residential area caused by the activities of an industrial enterprise."

The relevance of the topic is determined by the presence of numerous factors that contribute to environmental noise pollution, with industrial facilities being among the most intense sources.

The aim of the study is to ensure a reduction of acoustic activity at the boundary of the enterprise's sanitary protection zone by selecting optimal measures and tools. This involves examining the current state of the problem, defining directions for further research, identifying sources of industrial noise emission, studying its nature, characteristics, intensity, and spectral composition, as well as analyzing methods and means of reducing acoustic activity.

The object of the research is the acoustic aspects of the impact of the enterprise's industrial activity on the environment.

The subject of the research includes methods, approaches, and means of reducing noise pollution in a residential area caused by the operation of an industrial enterprise.

To achieve the goal, the study applies methods of observation, measurement, and comparison.

The practical significance of the work lies in the possibility of applying its results both at the specific enterprise where the industrial research was conducted, and at other business entities, taking into account their respective characteristics.

The master's thesis consists of professional sections and a special part dedicated to occupational health and safety in emergency situations.

The explanatory note comprises an introduction, five chapters, conclusions, appendices, and a list of references.

The introduction defines the relevance of the topic, objectives, tasks, object and subject of the study, and provides a brief overview of the assigned problem.

The first chapter considers the main sources of environmental noise pollution and the impact of noise on humans and the natural environment.

The second chapter presents the progress and results of theoretical research on the characteristics of the main industrial noise emission sources, as well as the nature and specifics of industrial noise propagation.

The third chapter is devoted to experimental studies of industrial noise emission, determining its levels and the pathways of acoustic pollution spread in the environment.

The fourth chapter presents the results of theoretical and experimental research on the causes, nature, and ways of reducing environmental noise pollution, including specific recommendations supported by calculations.

The special section on occupational safety and emergency protection addresses the assurance of labor protection, industrial sanitation and hygiene, fire and technogenic safety, civil protection, as well as environmental protection during scientific research.

The conclusions summarize the results of the conducted analysis and the findings obtained.

The master's thesis contains 115 pages, 18 figures, 7 tables, 50 information sources and 2 appendices.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні виробничі процеси, котрі вимагають активного впровадження новітньої техніки та технологій із значною індивідуальною потужністю й високими операційними швидкостями, створюють робоче середовище із вираженими шумовими впливами.

Внаслідок таких несприятливих умов праці здоров'я робітників зазнає негативного впливу, що призводить до тимчасової непрацездатності. Підприємства, у свою чергу, несуть додаткові фінансові витрати, пов'язані з виплатою компенсацій та наданням пільг працівникам за роботу в несприятливих умовах, а також можуть бути оштрафовані державними контролюючими органами, що стосується як керівного складу, так і самої організації.

Якщо ж шумове забруднення виходить за межі встановленої санітарно-захисної зони підприємства та проникає на селітебні території (території, де розташовані житлові будинки, громадські споруди (включно з освітніми установами, конструкторськими, науково-дослідними та іншими інституціями), транспортні шляхи, а також рекреаційні зони та місця загального доступу у межах населеного пункту), то таке підприємство вважається таким, що шкодить мешканцям суміжних територій. Воно зобов'язане вжити кроків для зменшення акустичного забруднення до прийнятних норм.

Шумове забруднення також негативно впливає на довкілля, завдає шкоду представникам флори і фауни.

Тематика вивчення і вирішення питань щодо шумового забруднення селітебних територій, яке виникає у зв'язку з розвитком міської, сільської, транспортної інфраструктур, будівництва, інтенсифікацією ведення сільського господарства тощо щораз стає актуальнішою. Даною тематикою займалась низка дослідників у різні часи, в роботах яких розглядалися

причини шумового забруднення населених місць, методи дослідження шуму, наслідки його негативного впливу на навколишнє природне середовища, а також методи, способи і засоби шумозниження та захисту від його негативного впливу [1-7]. Попри все, шумове забруднення продовжує зростати, а його негативний вплив поширюється як на людей, так і на представників живої природи.

Проблема мінімізації негативного впливу виробничого шуму на довкілля є актуальною і її вирішення потребує індивідуального підходу до конкретного підприємства з урахуванням на інтенсивності генерованого шуму, його частотних характеристик, спрямованості випромінювання, особливостей місцевості (рельєф, забудова), наявності суміжних об'єктів, які потребують захисту тощо.

Мета дослідження. Забезпечення зниження акустичної активності на межі санітарно-захисної зони підприємства шляхом вибору оптимальних заходів та засобів.

Завдання дослідження. Поставлена мета досягається реалізацією таких завдань:

- вивчення стану проблеми і визначення напрямів подальших досліджень;
- ідентифікація джерел емісії виробничого шуму, дослідження його природи, характеру, інтенсивності та спектрального складу;
- розроблення способів і засобів зниження акустичної активності основних джерел виробничого шуму та визначення шляхів і напрямів їх реалізації.

Об'єктом дослідження є акустичні аспекти впливу виробничої діяльності підприємства на навколишнє середовище.

Предметом дослідження є методи, способи і засоби зниження шумового забруднення селітебної території внаслідок діяльності промислового підприємства.

РОЗДІЛ 1. ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

1.1. Основні джерела шумового забруднення довкілля

З огляду на зростання кількості транспортних засобів, індустріалізацію міст, збільшення мобільності населення та підвищення рівня технічного забезпечення міського та сільського господарств, посилюється взаємний вплив між штучно створеним (техногенним) середовищем населених пунктів та природним оточенням. Шумове забруднення довкілля наразі є однією з найбільш нагальних проблем сучасності.

Основними джерелами акустичного забруднення навколишнього середовища є транспортні артерії, аеропорти, залізничні вузли та вокзали, порти (як морські, так і річкові), великі автостанції та автопідприємства, промислові об'єкти та масштабні бази будівельної індустрії, енергетичні установки, мотелі, кемпінги, стоянки для трейлерів тощо. Кожна з перелічених категорій об'єктів має свої унікальні характеристики з точки зору генерації шуму, його розповсюдження, інтенсивності, частотного спектра та тривалості впливу.

Нерідко рівні шуму, що досягають зон житлової забудови, перевищують гранично допустимі значення, встановлені у державних санітарних нормах, які регламентують допустимі рівні шуму всередині житлових та громадських будівель, а також на територіях житлової забудови (ДСН №463) [8].

Зокрема, відповідно до вимог ДСН №463, встановлено такі граничні рівні звуку:

– для територій, що межують безпосередньо з житловими будівлями, поліклініками, амбулаторіями, диспансерами, санаторіями, пансіонатами, будинками для ветеранів та інвалідів, закладами дошкільної освіти, школами та іншими освітніми установами, бібліотеками, храмами, музеями – межа

становить 55 дБА у денний час (від 08:00 до 22:00) та 45 дБА у нічний час (від 22:00 до 08:00);

- для житлових приміщень I категорії – 40 дБА вдень та 30 дБА вночі;
- для номерів у готелях категорій 4 та 5 зірок – 35 дБА вдень та 30 дБА вночі, тощо.

На підприємствах основними джерелами емісії виробничого шуму, який часто є причиною шумового забруднення селітебних територій, є:

- технологічне та допоміжне обладнання;
- вентиляторні установки;
- компресорні установки і ресивери;
- котельне господарство;
- автомобільний, залізничний, технологічний транспорт та ін.

Джерелами виробничих шумів всередині будівель і споруд різного призначення і на майданчиках промислових підприємств є машини, механізми, засоби технологічного транспорту та інше обладнання. Розглянемо коротко основні джерела виробничих шумів та їх рівні в залежності від виду виробництва та використовуваного технологічного обладнання.

Основними джерелами шумового забруднення довкілля на підприємствах лісопромислового комплексу є дереворізальне і деревообробне устаткування, вентиляційні системи, автомобільний і технологічний транспорт, автотракторна техніка тощо. В табл. 1.1 наведені рівні звуку, яких може сягати виробничий шум найбільш інтенсивних виробничих джерел [9].

Норми шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 [10], згідно яких, зокрема, допустимі рівні звуку становлять:

- на стаціонарних робочих місцях у виробничих цехах та на території суб'єкта господарювання – 80 дБА;
- коли виконується високопрофесійна праця, що потребує повної концентрації, а також управлінська чи адміністративна робота, вимірювання

та аналізування в умовах лабораторій; місця праці в офісних приміщеннях цехів, контор, дослідницьких приміщеннях – 60 дБА;

– у випадках, пов'язаних із творчим процесом, керівництвом з підвищеними вимогами, а також науковими дослідженнями, розробленням конструкцій та проєктів, написанням програмного забезпечення, викладанням матеріалу та навчанням, медичною практикою; робочі зони в кабінетах керівництва, конструкторських відділах, приміщеннях програмістів, у лабораторіях для теоретичних завдань та опрацювання інформації, а також для прийому пацієнтів у медичних пунктах – 50 дБА та ін.

Таблиця 1.1

**Рівні шуму основних видів обладнання на підприємствах
лісопромислового комплексу**

Джерело шуму	Рівень звуку, дБА	Перевищення допустимих значень (для постійних робочих місць)
Деревообробне обладнання	82...112	2...32
Загострювальні верстати	97...100	17...20
Млини деревного борошна	101...102	21...22
Рафінатори і дефібратори	100...102	20...22
Обкорувальні верстати	100...110	20...30
Вентилятори пневмотранспортних установок	85...104	5...24
Компресори	97...102	17...22
Автомобілі вантажні, автолісовози	88...97	8...17
Трактори трелювальні	98...108	18...28
Бульдозери, екскаватори	99...109	19...29
Потяг залізничний	93...98	13...18

Шум в основних виробничих підрозділах підприємства складається з фонового шуму і шуму технологічних операцій, які характеризуються періодичністю проведення. Основна складова частина фонового шуму утворена аеродинамічними шумами різної фізичної природи.

У більшості цехів основних галузей промисловості створюється звукове поле стабільного широкопasmового фонового шуму, часто з загальним

рівнем 70-90 дБА. Перевищення гранично допустимого рівня звукового тиску в низькочастотній частині спектра може складати 6-11 дБ, у середньочастотній – 7-12 дБ, у високочастотній – 6-20 дБ.

Шум окремих технологічних процесів також утворений шумами змішаного походження і відрізняється високим рівнем (90-120 дБА), який значно перевищує рівень фонового шуму на робочих місцях, має широкосмуговий спектр із переважним розподілом звукової енергії в середній і високочастотній частинах спектра.

Одним з найбільш шумних металургійних цехів є трубопрокатне виробництво. Встановлено, що в процесі виробництва труб генерується шум, еквівалентний рівень якого коливається від 69 до 95 дБА.

Так, найбільш шумними операціями в металургії і несприятливими за частотним складом є операції, виконувані на ділянках оброблення труб (94-95 дБА), а також їхнє транспортування по рольгангах і скидання в накопичувальні кишені (98-100 дБА). Інтенсивність шуму на робочих місцях правильника, різальника труб, контролера, здавача труб досягає 100 дБА.

Прокачування труб на автоматичних станах також супроводжується досить інтенсивним шумом, що досягає 84-94 дБА, проте він переважно є низько- і середньочастотним. Шум, що перевищує допустимі рівень, виявлено на робочих майданчиках біля прокатних станів.

Основою технологічних процесів хімічних підприємств є різні хімічні реакції, проте їхнє проведення було б неможливим без численних фізичних і фізико-хімічних процесів: переміщення рідин і твердих матеріалів, їхнього подрібнювання і сепарації; стиснення і транспортування газів; нагрівання й охолодження речовин, їхнього перемішування; поділу рідких і газових сумішей; випарювання розчинів; сушіння матеріалів. Часто ці процеси супроводжуються шумом підвищеної інтенсивності. Технологія виробництва найрізноманітніших хімічних продуктів і матеріалів (кислот, лугів, солей, барвників, полімерних і синтетичних матеріалів, пластичних мас і т.д.) передбачає низку однотипних процесів, що проводяться в аналогічних за

принципом дії машинах і апаратах. Це дозволяє з усієї різноманітності устаткування хімічних виробництв виділити основне, спільне для різних галузей хімічної промисловості: компресори, насоси, вентилятори, дробарки, млини, центрифуги й ін.

Як показали дослідження шумового режиму хімічних підприємств, ці види устаткування є основними джерелами підвищеного шуму (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Рівні шуму основного обладнання підприємств хімічної промисловості

Джерело шуму	Рівень звуку, дБА	Перевищення допустимих значень (для постійних робочих місць)
Компресорні установки	85...107	5...27
Холодильні агрегати	90...96	10...16
Насосні установки	82...101	2...21
Турбоповітродувки	88...97	8...17
Вентилятори	86...115	6...35
Дробарки	96...109	16...29
Млини	89...93	9...13
Ливарні машини	82...90	2...10
Гідравлічні преси	81...85	1...5
Екструдери	90...94	10...14
Обладнання для виробництва та оброблення хімічних волокон	85...103	5...23

В енергетиці використовуються потужні газові турбіни, економні парогазові установки. Основним видом привідних установок для нагнітачів на магістральних газопроводах є газові турбіни. При цьому покращення експлуатаційних характеристик енергетичного обладнання часто супроводжується збільшенням випромінюваної звукової потужності.

Устаткування теплових електростанцій (ТЕС) створює шум на всьому звуковому діапазоні, що сприймається людиною. Основними джерелами шуму на теплових електростанціях є турбіни, нагнітальні вентилятори, димовідсмоктувальні установки, млини, градирні, компресори, насоси, трубопроводи, клапани і т.д.

Максимальні значення рівнів звуку в зонах обслуговування машинних залів ТЕС сягають 100-110 дБА.

Основними джерелами шуму в машинних залах ТЕС є турбоагрегати і насоси з приводами. Значення усереднених рівнів звуку, створюваного цим устаткуванням на відстані 1 м від джерела, наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Рівень звуку, створюваний обладнанням енергоблоку, дБА

Вид обладнання	Потужність блоку, МВт		Перевищення норми (згідно ГС-75)
	200	300	
Турбіна	90	94	10...14
Генератор (щітковий апарат)	93	106	13...14
Редуктор	-	104	24
Збуджувач	-	94	14
Живильний насос	93	99	13...19
Конденсатний насос	94	98	14...18
Бустерний насос	-	98	18
Насос газового охолодження	-	101	21

Зазначений перелік джерел виробничого шуму не є вичерпним і залежить від особливостей та структури конкретного підприємства, виду виробничого процесу, використовуваного устаткування, транспорту, установок тощо.

1.2. Вплив шуму на людину

З позицій впливу на людину шум – це різні небажані звуки, що перешкоджають адекватному сприйняттю корисних звуків або/і порушують тишу, спричиняють шкідливий або дискомфортний вплив на організм людини. Шум є загальнобіологічним подразником, який за певних умов може впливати на різні органи і системи людини або на організм в цілому, викликаючи різноманітні негативні фізіологічні зміни.

Всі звуки, які сприймаються людиною, знаходяться в динамічному діапазоні рівнів в межах 0-130 дБА над порогом слухового сприйняття. Рівні звуку деяких джерел шуму наведені в табл. 1.4.

В практиці зниження шуму велике значення має суб'єктивна характеристика шуму, аналіз фізіологічного впливу шуму на людину. З суб'єктивної точки зору шум розглядається не лише за ступенем гучності, але і з позиції неприємності, дискомфортного впливу на людину. Відомо, що найбільш неприємними, такими, що справляють негативний вплив на людину, є високочастотні звуки. Причому неприємні відчуття монотонно зростають з підвищенням частоти звуку.

Таблиця 1.4.

Рівні звуку джерел шуму

Джерело шуму	Рівень звуку, дБА
<i>Поріг слухового сприйняття</i>	0
Шум листя, слабого вітру	10-20
Звук від роботи кишенькового годинника (на віддалі 1 м)	20
Людський шепіт (на віддалі 1 м)	30-40
Розмова (стиха)	50-60
Розмова (гучно)	60-70
Вуличний шум	70-80
Звук музики (оркестрова, фортісімо)	100-110
Шум, створюваний металорізальними верстатами	80-90
Шум, створюваний деревообробними верстатами	100-120
Шум, створюваний пневмоінструментами	110-120
<i>Поріг больового сприйняття</i>	120-130
Шум під час роботи авіаційного реактивного двигуна (на віддалі 1 м від сопла (збоку))	130-140

Ступінь дискомфортного впливу залежить також і від спектра шуму. Особливо неприємні і шкідливі для здоров'я шуми імпульсно-ударної дії, шиплячі, свистячі (шум верстатів, газів, які вириваються із отворів тощо).

Шум також здійснює надзвичайно шкідливий патологічний вплив на організм людини.

Специфічною реакцією організму на акустичний вплив є зміни у слуховому аналізаторі, що виникають під дією шуму. Характер змін слухової чутливості залежить від частоти звуку-подразника, рівня інтенсивності і тривалості його дії на людину.

Результати впливу шуму на організм, в тому числі і на органи слуху, залежать не лише від характеристик шуму і тривалості його впливу, але і від

індивідуальних особливостей організму: віку, стану здоров'я, особливостей слухового аналізатора, тренуваності слуху, втоми тощо.

Втома слухового аналізатора або тимчасове притуплення його чутливості пояснюється захисними властивостями слухового апарату, адаптацією, завдяки котрій вже за декілька хвилин шумового впливу рівнем інтенсивності 100 дБ і частотою звуку 1000 Гц чутливість слухового аналізатора може знижуватись на 5–10 дБ. Після переадаптації слухового аналізатора внаслідок відпочинку (за нормальних умов) притуплення слуху, як правило, впродовж 2–3 хв. після закінчення впливу шуму зникає. За тривалого впливу шуму значної інтенсивності може спостерігатись зниження слуху на декілька днів.

Тривалий інтенсивний шум спричиняє деформацію і потовщення барабанної перетинки, незворотні патологічні зміни в закінченнях слухового нерва. Ступінь втомлюваності слухового апарату знаходиться в прямій залежності від висоти звуку, що діє. Так, звуки в частотному діапазоні 64–1000 Гц з рівнем 80 дБ не призводять до помітного стомлення слуху; звуки з частотами 2000–4000 Гц з рівнем 80 дБ помітно негативно впливають на слух; звуки, які знаходяться в діапазоні 5–6 кГц, спричиняють втому слуху вже при рівні 60 дБ. Найбільше зниження слуху спостерігається під впливом шуму частотою, близькою до 4 кГц, з рівнем 90–100 дБ.

Довготривалий систематичний вплив шуму значної інтенсивності може спричинити у людини поступове погіршення слуху аж до повної глухоти. Серед супутніх симптомів, що супроводжують втому й ураження слухового апарату внаслідок постійного впливу шуму, виділяють біль голови, дзвін у вухах, порушення відчуття рівноваги та виникнення нудоти. Усі інші зміни в організмі, котрі є низкою послідовних реакцій на дію шуму, зумовлені тісними взаємозв'язками слухової системи з численними нервовими центрами на різних рівнях і відображають неспецифічний вплив шуму.

Вплив шуму негативно позначається не лише на слуховому аналізаторі, але й на інших органах людини, зокрема на системі кровообігу. Зміни у

серцево-судинній системі проявляються як нейроциркуляторна дистонія з ознаками підвищеної активності серця та гіпертонічною хворобою. Фіксуються зміни частоти серцевих скорочень, переважно це уповільнення ритму (брадикардія) та нерегулярність (аритмія), рідше – позачергові скорочення (екстрасистолія). Під впливом надто шуму значної інтенсивності можливе відхилення артеріального тиску від норми. Шум високого рівня (90-110 дБ) провокує реакцію судин, що негативно впливає на загальне самопочуття людини.

Шум призводить до перевтоми та виснаження клітинних структур кори головного мозку не лише у зоні слухового центру, а й в інших ділянках та підкіркових структурах. Під дією сильного шуму на початковому етапі спостерігається підвищена функціональна активність мозкових клітин, проте при тривалому впливі, коли настає функціональне перевантаження, запускається процес загальмування, що веде до зниження реакції на раптові зміни довкола.

Зміни у центральній нервовій системі, що виникають під впливом шуму, є результатом складного механізму нервово-рефлекторних та нейрогуморальних зсувів, які здатні порушити баланс процесів внутрішнього гальмування у центральній нервовій системі.

Дія шуму спричиняє напруження симпатико-адреналової системи з подальшими ознаками її недостатності. Порушується метаболізм вітамінів, змінюються механізми мікроциркуляції та реактивність кінцевих судин мозку. Гіпертензивний ефект шуму може спровокувати розвиток гіпертонічної хвороби. Трапляється порушення судинного тону, спастичний і змішаний (спастично-атонічний) стан дрібних судин у різних частинах тіла і тканин.

Органи травлення реагують на шум переважно зниженням апетиту, появою нудоти, відчуттям переповненості і тому подібне. Тривала дія шуму стимулює посилення шлункової секреції, збільшення тону стінки шлунка та його перистальтики. Знижується здатність тонких кишок до скорочень, що ускладнює процес перетравлення їжі, зменшує ефективність засвоєння

поживних речовин та сприяє формуванню патологій у кишківнику. Як наслідок, у робітників на шумних виробництвах часто діагностують гастрит, а також виразкову хворобу шлунка та дванадцятипалої кишки.

Значний вплив тривалий шум має на жовчний міхур та жовчовивідні протоки, що призводить до дисфункції жовчовивідного апарату і спричиняє порушення відтоку жовчі з печінки та жовчного міхура до дванадцятипалої кишки. Це зумовлює застій жовчі у печінці та жовчних шляхах, що, у свою чергу, спричиняє запальні процеси та сприяє розвитку жовчнокам'яної хвороби.

Інтенсивний шум (понад 110 дБА) може спричинити так зване шумове сп'яніння, а згодом – руйнування тканин організму, насамперед органу слуху.

З огляду на зазначене, можна говорити про існування захворювання, яке називається шумовою хворобою, етіологічним фактором якої є сукупність різноманітних шумових впливів. Тобто, шумова хвороба є загальним захворюванням організму з переважним ураженням слухового апарату, центральної нервової та серцево-судинної систем, що розвивається внаслідок тривалого впливу інтенсивного шуму.

1.3. Вплив шуму на навколишнє природне середовище

Шкідливий вплив шуму не обмежується лише організмом людини і її суспільною діяльністю, адже він також негативно позначається на представниках рослинного та тваринного світу.

Науково доведено, що рослинність під впливом шумового забруднення демонструє уповільнення росту, а також надмірну чи повну втрату вологи через листя, що може призвести до загибелі; можливі також і клітинні дисфункції. Рослини, розташовані біля джерел потужного шуму, втрачають листя та квіти. У клітинах рослин відбуваються метаболічні зміни, що спричиняють морфологічні зміни або навіть генні мутації. Ці процеси надзвичайно негативні для сучасного еволюційного розвитку рослин,

оскільки перевагу в виживанні отримують мутанти з різними відхиленнями від норми (наприклад, викривлені стебла, змінена форма листя та ін.). Внаслідок таких мутацій, що особливо помітно у міському середовищі, зростає чисельність дерев із зміненою (мутагенною) структурою.

Шум подібно впливає і на тваринний світ. Організм тварини, подібно до людського, зазнає серйозних розладів від шуму: нервової системи, серцевого ритму, слухового апарату. Тваринам адаптуватися до шумового впливу складніше і триває це повільніше, ніж у людей. Дика фауна страждає від шуму особливо сильно. Переважна більшість тварин уникає територій із високим рівнем шуму, оскільки це руйнує їхній природний життєвий цикл, порушує сон та ускладнює пошук їжі.

Домашня худоба певною мірою пристосувалася до навколишнього шуму, проте це не означає відсутності його негативного впливу.

Так, кішки надзвичайно гостро сприймають шумові коливання і, як правило, не оселяються там, де присутній стійкий інтенсивний шум. Личинки бджіл гинуть від звуків, порівнянних із шумом реактивних літаків, а самі бджоли втрачають здатність до навігації; у пташиних гніздах можуть з'являтися мікротріщини на шкаралупі яєць. Шум призводить до зниження молочної продуктивності у корів, уповільнення набору ваги у свиней та зменшення яйценосності курей. Риби, особливо в період розмноження, болісно реагують на шумові подразнення. Крім того, шум становить загрозу як для здоров'я тварин, що мають дати потомство, так і для їхніх майбутніх нащадків. Наприклад, навіть якщо шум не є надмірно інтенсивним, він може спричинити такий вплив на бджолину матку, що вона втратить свою ключову функцію – виведення розплоду. Більше того, бджолина матка може загинути під впливом надто гучних шумів.

Органи чуття тварин більш розвинені; абсолютна верхня межа їхнього слухового сприйняття розташована нижче, ніж у людини, тобто больовий поріг у багатьох тварин настає швидше. Через це такі тварини, як коти,

собаки та більшість видів птахів, сприймають інтенсивний шум, як больові сигнали.

Усе вищезазначене підкреслює нагальну потребу впровадження низки заходів, спрямованих на зменшення загального шумового забруднення довкілля, і особливо у житлових зонах сучасних населених пунктів, до рівня, що відповідає санітарно-гігієнічним нормам.

Висновки до розділу

До основних джерел шумового забруднення довкілля належать промислові об'єкти, будівельні майданчики, енергетичні установки, залізничні та автомобільні вузли і станції, аеропорти, портове господарство, транспортні магістралі тощо. Проте найбільш поширеними джерелами шумового забруднення є промислові підприємства, що емітують виробничий шум значної інтенсивності і впродовж тривалого часу.

Шум, генерований виробничими джерелами, що перевищує санітарно-гігієнічні норми, поширюється на прилеглі селітебні території, спричиняє акустичне забруднення довкілля.

Шум негативно впливає на самопочуття людей, завдає шкоду їхньому здоров'ю, сприяє підвищенню втомлюваності, що формує передумови захворюваності та травматизму. Крім того, за результатами досліджень науковців виявлено негативний вплив шумового забруднення на представників флори і фауни.

Вище наведене свідчить про необхідність проведення досліджень з метою вивчення природи шуму, закономірностей його поширення, розроблення та впровадження методів, способів та засобів запобігання виникненню інтенсивного шуму, мінімізації його рівня, а також захисту від негативного впливу, як на людину зокрема, так і на навколишнє природне середовище загалом.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Основні аспекти емісії виробничого шуму

Джерелами шуму виробничого машинного устаткування, як правило, є внутрішні точки, де виникають місцеві збурення тиску, спричинені механічним рухом поверхонь окремих деталей.

Загальний шум устаткування складається із шумів, які виникають у деталях, вузлах, приводах, передавальних механізмах, підшипникових вузлах, вузлах різання тощо. У більшості машин існує складне внутрішнє розташування можливих джерел, причому деякі з них взаємодіють один з одним по гідравлічних чи конструктивних зв'язках.

Джерела шуму в загальному випадку, як правило, є випромінювачами звуку, зв'язаними з джерелом, а не власне джерелами шуму. У типовому випадку корпус машини реагує на енергію, що надходить від джерел по каналах зв'язку (гідравлічних і конструктивних). Так, зокрема, джерелами шуму в коробці передач є дотичні поверхні шестерень. Частина енергії, одержуваної корпусом коробки через підшипники, мастило і підтримувальні елементи конструкції, перетворюється в рух поверхні корпусу. У залежності від співвідношення фаз цього руху, тиску, відповідності опору й інших чинників частина енергії корпусу передається повітрю у вигляді шуму.

Для передачі крутного моменту в технологічному устаткуванні застосовуються зубчасті, ланцюгові та пасові передачі. Під час обертання привідного валу з частотою 2000 хв^{-1} рівень шуму зубчастих передач становить 76 дБА, пасових – 70 дБА. Шум, що випромінюють передачі, залежить як від крутного моменту, так і від частоти обертання. За подвоєння крутного моменту рівень шуму підвищується на 3 дБА, а з подвоєнням частоти обертання шестерень – на 6 дБА [11].

Резонансні явища, виникнення яких можливе за співпадіння власних вільних та вимушених частот коливань деталей, вузлів, елементів устаткування та оброблюваних заготовок, також належать до причин підвищення рівня шуму та вібрації технологічного устаткування, а також впливають на зниження якості та точності оброблення деталей, прискореного зношення і навіть руйнування деталей обладнання.

Основними причинами віброакустичної активності виробничого обладнання є механічні коливні процеси деталей, вузлів та устаткування в цілому, аеродинамічні збурення повітряного середовища в зоні обертових деталей та рухомих робочих інструментів, коливання елементів предметів праці і всієї маси оброблюваного матеріалу.

2.2. Причини виникнення та природа механічного шуму

У промисловості переважно панує механічний шум, спричинений вібрацією елементів обладнання та їхнє взаємопов'язане переміщення. Його зумовлюють силові чинники, пов'язані з незбалансованою ротацією мас, ударні явища у з'єднаннях компонентів та зазорах, потік субстанцій по трубах чи жолобах, а також вібрації, індуковані силами немеханічного походження тощо. Ці коливальні процеси є джерелом як ударів, що поширюються повітрям, так і структурного шуму.

Зважаючи на те, що поява механічного шуму переважно спричинена різкими імпульсами, а елементи та конструкції, що його генерують, є рознесеними системами з великою кількістю резонансних точок, спектр цього шуму охоплює значну смугу частот. У ньому присутні компоненти, що відповідають цим резонансним частотам, а також частотам ударів та їхнім обертонам. Наявність високих частотних складових у цьому шумі сприяє його суб'єктивному сприйняттю як надзвичайно подразнювального. Вібрації

рухомих частин передаються на корпус (рами, оболонки), що модифікує як сам спектр коливань, так і емітований шум.

Складність явища генерування механічного шуму полягає у значній кількості чинників, що впливають на нього. Окрім властивостей, як-от геометрія, габарити, швидкість обертання (якщо йдеться про роторні елементи), конструктивне виконання, механічні характеристики матеріалів, а також механізм ініціації вібрацій, вирішальне значення мають також особливості поверхонь елементів, що контактують чи перебувають у терті, та стан їхнього змащення. Як правило, розрахунковими методами точно встановити поле емісії, виявляється неможливим.

Виникнення, поширення та випромінювання структурного шуму в машинах може бути подано схематично наступним чином.

Змінна сила $P(t)$, прикладена до деякої точки твердого тіла, викликає в ньому пружні деформації та коливання зі швидкістю V_1 :

$$V_1 = \omega \cdot \xi_1, \quad (2.1)$$

де ω - колова частота;

ξ_1 – коливне зміщення.

Колова частота ω і частота f , тобто кількість повних коливань за секунду, пов'язані залежністю:

$$\omega = 2\pi \cdot f. \quad (2.2)$$

Величина механічного імпедансу тіла в даній точці Z_{mex} становить:

$$Z_{mex} = \frac{P(t)}{V}. \quad (2.3)$$

В іншій точці поверхні даного тіла пружні деформації викликають коливний рух, швидкість якого V_2 складає:

$$V_2 = \omega \cdot \xi_2 \quad (2.4)$$

Величина V_2 залежить від коефіцієнта передачі k :

$$k = \frac{V_2}{V_1}. \quad (2.5)$$

Орієнтовну звукову потужність W такого джерела шуму можна виразити формулою:

$$W = \rho \cdot c \frac{V_2^2}{2} S \cdot k, \quad (2.6)$$

де $\rho \cdot c$ – акустичний імпеданс повітря;

S – площа поверхні випромінювання;

k – коефіцієнт випромінювання, який визначається характером певного випромінювача.

В загальному випадку $k < 1$, оскільки коливання різних точок поверхні неоднакові за величиною і фазою.

Величина звукового тиску P в точці, яка розглядається, може бути виражена наступним чином:

$$P = \frac{P(t) \cdot V_2}{Z_{\text{мех}} \cdot V_1} k \cdot S. \quad (2.7)$$

За походженням механічні шум і вібрації окремих механізмів та вузлів технологічного обладнання можна розділити на безпосередньо не пов'язані з технологічними операціями, і шум та вібрації, безпосередньо пов'язані з виконанням технологічних операцій.

Вібрації та шум від дисбалансу обертових деталей. Досить інтенсивним джерелом низькочастотних вібрацій та повітряного шуму технологічного обладнання є незрівноваженість обертових частин – шківів, затискних фланців та проставочних шайб, обертових різальних інструментів, самого шпиндельного вузла та ін. (рис. 2.1).

Джерела небалансу можуть бути зумовлені неоднорідністю матеріалу обертового тіла і дефектами конструкції, монтажу.

Причинами неоднорідності матеріалу можуть бути раковини та пористість в литих деталях, нерівномірна густина матеріалу в різних місцях та ін.

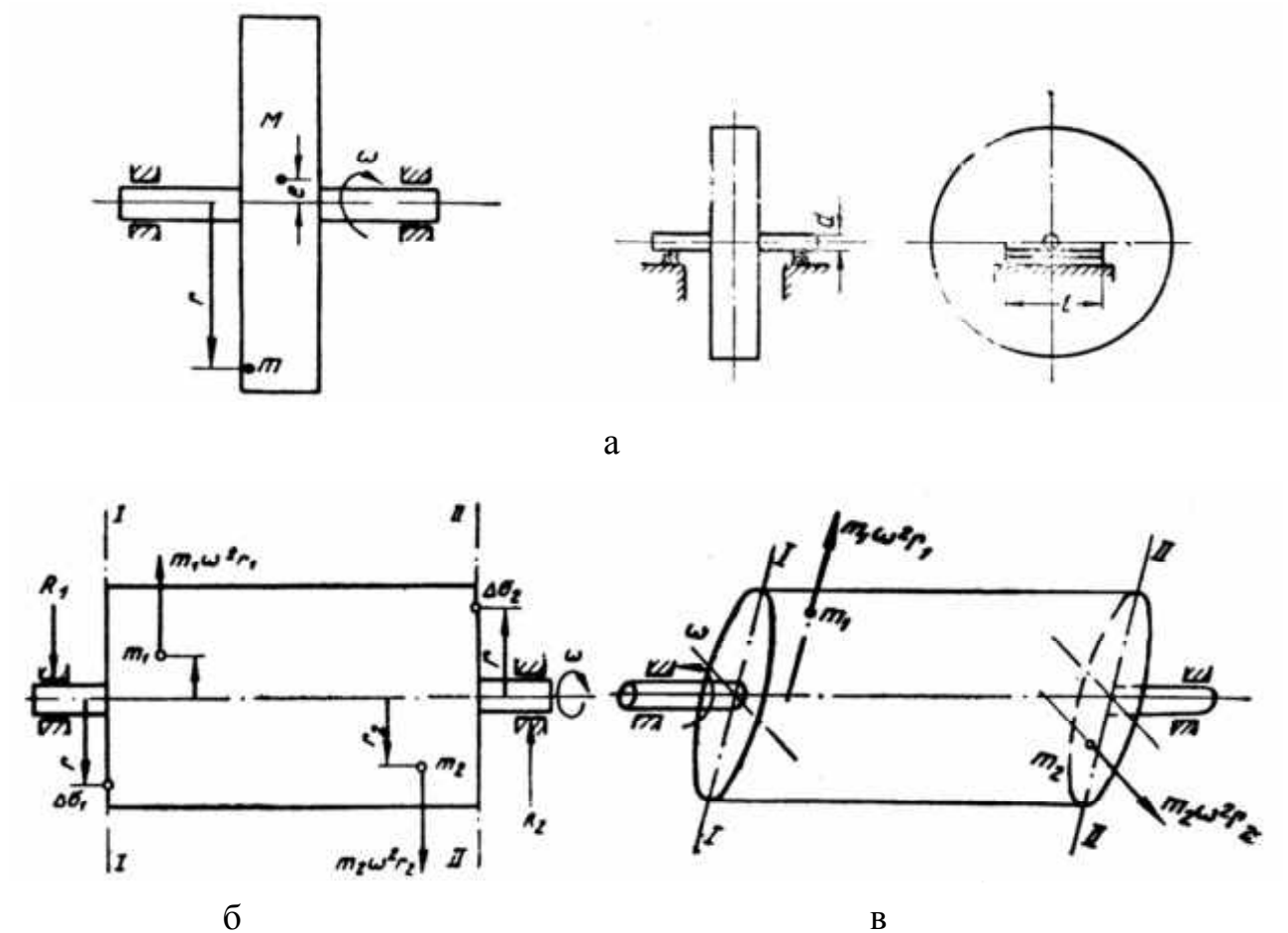


Рис. 2.1. Випадки незрівноваженості тіл обертання:

а - статичної; б - динамічної; в - загальний випадок незрівноваженості.

До дефектів конструкції, що призводять до зміщення центра ваги тіла відносно осі обертання, відносяться:

- несиметричний розподіл мас та отворів;
- нерівностінність порожнистих деталей (втулок, кілець та ін.);
- наявність необроблених ділянок поверхонь (зовнішніх, внутрішніх, бокових);
- неправильний вибір допусків оброблення і посадок суміжних деталей, що призводить до осевого биття;

- наближення робочої швидкості обертання до критичних швидкостей;
- порушення симетрії розподілу мас шплінтами, шпонками та ін.

В роботі шпиндельних вузлів дисбаланс виникає внаслідок:

- радіального биття від натягу шківів та фіксації обертових елементів шпонками;
- відхилення в допусках механічного оброблення обертових та фіксувальних деталей;
- невідповідності форми валу та радіальному битті шийок;
- деформацій, викликаних неоднорідністю температурних полів та різницею коефіцієнтів теплового розширення складових деталей, виготовлених з різних матеріалів, особливо в режимі різання.

Дисбаланс може бути спричинений також переміщенням деталей (шківів, фланців, дискових пилок та ін.) під дією відцентрових сил, нерівномірним зношенням деталей та дією зовнішніх факторів.

Як відомо, обертове тіло не здійснює ніякої збурювальної дії на підшипникові опори, коли вісь обертання точно співпадає з однією із головних осей інерції тіла.

Незначне зміщення центру ваги e відносно осі обертання зумовлює виникнення незрівноваженої відцентрової сили, величина якої визначається співвідношенням:

$$P = M \cdot \omega^2 \cdot e, \quad (2.8)$$

де P – незрівноважена відцентрова сила;

M – маса обертового тіла;

ω – кутова швидкість обертання;

e – величина зміщення центру ваги.

Дисбаланс, який зустрічається в обертових тілах з відносно малими основними розмірами (як у випадку, що розглядався вище), є статичним. Схематично статичну незрівноваженість зображено на рис. 2.1 а.

Усунення коливань, збурених відцентровими силами, досягається зрівноваженням (балансуванням), тобто покращенням розподілу мас обертового тіла частковим збільшенням або усуненням маси в певних місцях.

У випадку, наведеному на рис. 2.1 а зрівноваженість може бути досягнута приєднанням компенсувальної маси m до полегшеної частини тіла на віддалі r від осі обертання. Величина компенсувальної маси в даному випадку повинна відповідати умовам рівноваги відцентрових сил відносно осі обертання:

$$M \cdot \omega^2 \cdot e = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2.9)$$

або

$$m = \frac{e}{r} M \quad (2.10)$$

Величина дисбалансу визначається добутком $m \cdot r$ або $\Delta G \cdot r$, де ΔG – вага еквівалентного балансувального вантажу m .

Ступінь зрівноваженості за статичного балансування характеризується питомою незрівноваженістю e , яка визначається як відношення величини небалансу $\Delta G \cdot r$ до 1 кг ваги ротора:

$$e = \frac{\Delta Gr}{G}, \quad (2.11)$$

де e – питома незрівноваженість;

G – вага ротора.

У випадку статичного дисбалансу питома незрівноваженість e дорівнює віддалі зміщення центра ваги тіла від осі обертання.

Статичне балансування обертових деталей виконується за допомогою наступних способів: зрівноваження на паралелях або обертових дисках; на сферичній п'яті; на спеціальних вагах і верстатах.

Головним несучим та передавальним крутний момент елементом шпиндельного вузла є вал, тобто тіло – видовжена деталь (рис. рис. 2.1 б).

Для його збалансування не можна обмежитись однією статичною зрівноваженістю (тобто умовою рівності $m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2$) з розміщенням в одній поздовжній площині.

Додаткові маси m_1 і m_2 , розміщені в різних поперечних площинах, спричиняють при обертанні відцентрові сили, які створюють пару сил, що викликає додаткові сили реакції R_1 і R_2 в підшипникових опорах. В цьому випадку ротор (вал), зрівноважений статично, буде незрівноваженим динамічно, оскільки цей дисбаланс виявляється лише при обертанні. Динамічна незрівноваженість (дисбаланс) жорсткого ротора може бути виправлена відповідними компенсувальними вантажами ΔG_1 і ΔG_2 , розміщеними в двох площинах балансування (I і II) на віддалі r від осі обертання. Величина вантажів ΔG_1 і ΔG_2 та місця їх встановлення в балансувальних площинах вибираються таким чином, щоб їх відцентрові сили компенсували дію збурювальних відцентрових сил $m_1 \cdot \omega_1 \cdot r_1$ та $m_2 \cdot \omega_2 \cdot r_2$.

Крім розглянутих двох випадків чисто статичного та чисто динамічного дисбалансу можливий третій випадок незрівноваженості, який практично найчастіше зустрічається, коли небаланси $m_1 \cdot r_1$ та $m_2 \cdot r_2$ не рівні між собою і розміщені, як вказано на рис. 2.1 в. В цьому випадку обертове тіло незрівноважене статично та динамічно. Повне зрівноваження такого жорсткого ротора досягається також розміщенням балансувальних вантажів ΔG_1 і ΔG_2 в площинах балансування I та II.

У випадках динамічного та змішаного дисбалансів ступінь зрівноваженості обертових тіл різних розмірів характеризується також питомою незрівноваженістю e , яка в цьому випадку буде визначати зміщення осі інерції відносно осі обертання тіла.

Динамічне зрівноважування обертових деталей здійснюється на спеціальних верстатах.

2.3. Причини виникнення та природа аеродинамічного шуму

До аеродинамічних шумів належать:

- шум, що відбувається внаслідок періодичного випускання газу в атмосферу (сиренний шум);
- шум, що виникає при утворенні вихорів біля твердих меж потоку (вихоровий шум);
- шум відривних течій;
- шум від неоднорідності потоку (шум взаємодії);
- шум турбулентного характеру;
- аеродинамічні шуми, що виникають в надзвукових течіях;
- шум нестійких течій;
- автоколивний аеродинамічний шум;
- кавітаційний шум.

До виробничих шумів аеродинамічного характеру, які зустрічаються найчастіше, належать: вихоровий шум та шум крайового шару, шум від неоднорідності потоку та шум обертання, а також шум від нестійкого розділення шарів рухомого та нерухомого повітря.

Вихоровий шум та шум крайового шару. Для розгляду фізичної картини аеродинамічного шуму та його характеристик уявимо крильчатку осьового вентилятора у вигляді диска, на периферії якого закріплені стержні.

Внаслідок обертання крильчатки утворюється аеродинамічний слід за тілом кожного стержня. В аеродинамічному сліду за тілом утворюються вихори. Ширина сліду і форма течії в ньому визначаються формою і розмірами тіла, величиною і напрямом швидкості потоку відносно тіла та в'язкістю рідини (газу). Поверхня розділення між слідом і активним потоком є поверхнею вихорового шару, який через нестійкість, притаманну вільним вихоровим шарам, на невеликій віддалі від тіла розпадається на низку

дискретних вихорів (вихоровий слід), які за рахунок дії в'язких сил розпадаються на дрібніші, внаслідок чого вихоровий слід переходить в турбулентний. За достатньо великих чисел Рейнольдса вихори зриваються почергово з двох сторін циліндричного тіла і рухаються вздовж потоку, розміщуючись в шаховому порядку (шахова доріжка Кармана). Погіршення обтічності тіла призводить до зростання інтенсивності вихороутворення.

Частота утворення вихорів визначається критерієм подібності – числом Струхалія:

$$Sh = \frac{fD}{V} = \varphi(Re), \quad (2.12)$$

де f - частота періодичної в часі піднімальної сили, яка призводить до зриву вихорів;

D – діаметр поперечного перерізу стержня в напрямі, перпендикулярному до напрямку потоку, що набігає;

V – швидкість потоку;

Re – число Рейнольдса.

Величина числа Струхалія для погано обтічних тіл описується виразом:

$$Sh = \frac{fD}{V} = 0,195 \left(1 - \frac{20,1}{Re}\right). \quad (2.13)$$

Звук утворюється переважно лише при утворенні вихорів. Вихорова доріжка, яка вже утворилась, не є випромінювачем, якщо знехтувати досить слабким звуком, який утворюється із затуханням вихорів в атмосфері за рахунок в'язкості. Проте вихор, який наближається до твердої стінки або переміщається вздовж стінки, може бути джерелом шуму, оскільки він призводить до зміни тиску на стінці.

Величина вихорового шуму практично не залежить від матеріалу, з якого виготовлене обтічне тіло.

Кожен елемент обертових стержнів можна розглядати як некогерентний випромінювач, частота випромінювання якого визначається з формули (2.12).

Звукову потужність шуму W погано обтічних стержнів при їх обертанні можна визначити за формулою:

$$W = \frac{1}{7} k \frac{\rho_0}{C^3} (Sh C_x)^2 (1 - K_n)^6 U_R^6 DR (1 - \bar{d}^7) Z, \quad (2.14)$$

де k – безрозмірний коефіцієнт пропорційності;

ρ_0 – густина середовища в стані спокою;

C – швидкість звуку в нерухомій атмосфері в стані спокою;

Sh – число Струхалія;

C_x – коефіцієнт лобового опору, який визначається за результатами випробувань стержнів в аеродинамічній трубці;

K_n – відношення швидкості в супутньому струмені до оточуючої швидкості;

U_R – колова швидкість кінця стержня;

R – радіус стержня;

\bar{d} – відношення радіуса втулки (диска), на якому закріплений стержень, до радіуса R ;

Z – кількість стержнів, які обертаються.

Характеристика спрямованості випромінювання вихорового шуму відповідає диполу (рис. 2.2) – звук випромінюється перпендикулярно до напрямку потоку; характеристика звукового тиску має вигляд вісімки.

Внаслідок сумісного впливу таких диполів при роботі вентилятора їх сумарне випромінювання є переважно перпендикулярним до потоку, в зв'язку з чим звукова енергія аеродинамічної складової в шумі вентилятора поширюватиметься, головним чином, вздовж осі валу вентилятора.

Інтенсивність вихорового звуку I (без затухання в атмосфері) можна описати виразом

$$I = \frac{W \cos^2 \theta}{4\pi r_0^2}, \quad (2.15)$$

де θ - кут, що відраховується від перпендикуляра до напрямної;
 r_0 – віддаль від точки спостереження до випромінювача.

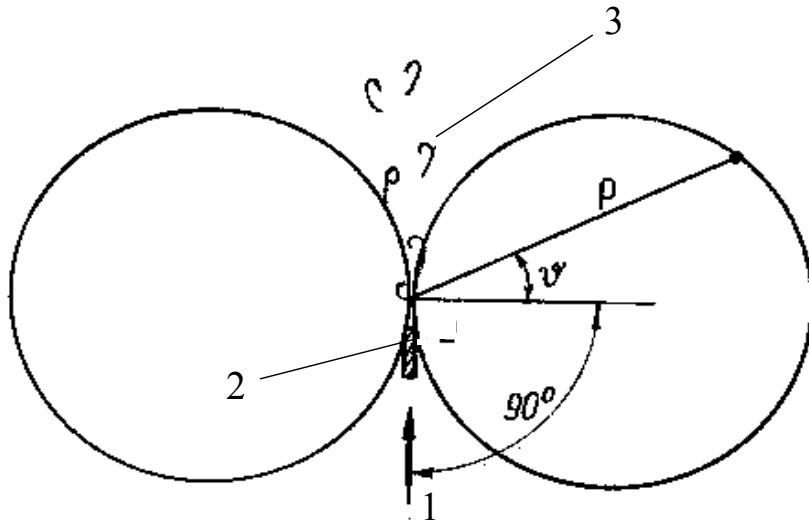


Рис. 2.2. Характеристика спрямованості вихорового шуму:

1 – напрям швидкості потоку; 2 – стержень, що обтікається; 3 – вихоровий слід.

Шум від неоднорідності потоку та шум обертання. Стосовно шуму турбулентного крайового шару на обтічних поверхнях можна стверджувати, що його звукова потужність, яка випромінюється в оточуюче середовище, пропорційна шостій степені швидкості потоку і квадрату геометричних розмірів поверхні, а спектр – безперервний в широкій смузі частот [12]. Отже, звукова потужність шуму крайового шару підлягає дії тих самих законів, що і звукова потужність вихорового шуму.

Місцеві неоднорідності потоку повітря на вході в зону лопатей вентилятора (наприклад, через погано обтічні деталі конструкції або напрямного апарата), або на виході з нього призводять до нестационарного

омивання лопатей та нерухомих елементів шпindelного вузла, які розміщені біля вентилятора. Ця обставина є причиною шуму від неоднорідності потоку (або шуму від перешкод в потоці). Шумоутворення цього ж типу може виникнути за рахунок турбулентних пульсацій потоку повітря, котре надходить в зону лопатей.

Причиною шуму обертання є та обставина, що кожна лопать при обертанні вентилятора є джерелом збурення оточуючого середовища в абсолютному русі. У відносному русі шум обертання відсутній, наявні лише стаціонарні відхилення швидкостей і тиску від середніх значень.

Шумоутворення від неоднорідності потоку аналогічне вихоровому шуму, спричинене пульсаціями тиску на перешкодах та лопатях і має силовий (дипольний) характер. У відносному русі швидкість потоку повітря на вході в зону лопатей дорівнює геометричній сумі швидкості в абсолютному русі та колової швидкості. Коли лопать потрапляє в аеродинамічну тінь від перешкоди, відносна швидкість змінюється за величиною та напрямом і призводить до зміни вектора сили, що зумовлює виникнення звукового імпульса.

Пульсації тиску на нерухомих елементах також можуть бути причиною шуму від неоднорідності потоку. Ці пульсації з'являються за рахунок нерівномірності потоку із зони зубчастого вінця.

Основна частота шуму від неоднорідності потоку завжди дорівнює добуткові кількості лопатей на секундну кількість обертів.

На основі попередніх наукових досліджень [13–14] стосовно нашого об'єкта можна виділити основні риси шуму обертання:

- 1) він зумовлений як силовою дією стержнів на повітряне середовище, так і витісненням середовища стержнями, перша причина важливіша;
- 2) зі збільшенням колової швидкості рівень шуму обертання зростає значно швидше, ніж рівень вихорового шуму або шуму від неоднорідності потоку;
- 3) на осі обертання цей шум відсутній;

4) частота шуму обертання f , Гц визначається за формулою:

$$f = \frac{n \cdot z}{60}, \quad (2.16)$$

де n – частота обертання;

z – кількість стержнів (лопатеї).

Шум від нестійкого розділення шарів рухомого та нерухомого повітря. У випадках проходження газу по трубах із заглибленнями, при обдуванні порожнистих тіл з отворами або русі твердих тіл в газовому середовищі зустрічаються коливання нестійких поверхонь розділення шарів повітря в горлі резонатора або ламінарних вільних струменів.

Розрізняють випромінювачі звуку типу "органної труби", де звук збуджується при відносному обдуванні зовнішнім потоком.

У випромінювачах типу «органної труби» струмінь, який витікає із щілини сопла, набігає на край резонатора. Коливання в цьому резонаторі, частота яких дуже близька до власних частот повітряного стовпа, збуджуються за рахунок енергії струменя і в свою чергу регулюють рух цього струменя, що призводить до виникнення випромінювання звуку типу простого джерела.

Обдування відкритого кінця резонатора зовнішнім потоком повітря під деяким оптимальним кутом α призводить до виникнення звуку. Така система звучить при $\alpha \approx 30^\circ$.

Існують також "клинові тони", які збуджуються струменем, що набігає на клин. Почерговий рух струменя призводить до виникнення звуку, частота якого регулюється згинальними коливаннями струменя.

2.4. Поширення звуку на відкритому просторі

Область тривимірного простору, у якій спостерігаються звукові хвилі, називається звуковим полем.

Процес хвильового збурення в пружному середовищі тривимірного простору описується диференціальним рівнянням з частинними похідними [11]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (2.17)$$

де x, y, z – просторові змінні;

t – час;

$u = u(x, y, z)$ – функція, яка характеризує збурення в точці (x, y, z) в момент t ;

c – швидкість розповсюдження збурення, м/с.

При випромінюванні шуму в простір характер звукового поля змінюється в залежності від відстаней до джерела і відбивальних поверхонь. При цьому, в залежності від фізичної структури хвиль, вони можуть утворювати звукові поля трьох видів: область ближнього поля, область прямого звуку (вільного поля) і область відбитого поля.

Область ближнього поля знаходиться в безпосередній близькості від джерела звуку в радіусі, який приблизно дорівнює подвоєному найбільшому розміру поверхні, що випромінює шум (машини, верстата і т.д.). Для цієї зони є характерними різні аномалії в закономірностях структури звукових хвиль. Тут інтенсивність звуку непропорційна квадрату звукового тиску. На цій ділянці спостерігається розбіжність коливної швидкості з напрямком руху звукової хвилі.

Область прямого звуку характеризується лінійним характером згасання звукового тиску з віддаленням від джерела. Поширення звуку на цій ділянці відповідає законам біжучої хвилі, інтенсивність звуку пропорційна квадрату звукового тиску, коливна швидкість збігається з напрямком руху звукової хвилі.

Третя область звукового поля, яка є характерною для закритих приміщень, називається областю відбитого поля. Для цієї області властиво те, що рівні звукового тиску в її межах практично не змінюють свого значення зі

зміною відстані від джерела звуку. Розміри області відбитого поля залежать насамперед від відбивальних властивостей огорожувальних поверхонь приміщення, геометричних розмірів і форм цих поверхонь.

У приміщеннях, побудованих з матеріалів, які добре відбивають звук (бетон, скло, цегла), зона відбитого поля поширюється майже на все приміщення. В акустично оброблених приміщеннях розміри цієї зони різко скорочуються. Усякий тривимірний простір, обмежений поверхнями, що добре відбивають звукові хвилі, має власні частоти коливного процесу, завдяки чому в приміщеннях спостерігаються хвильові збурення, описані рівнянням (2.17). Приміщення може мати низку власних резонансних частот. При співпаданні цих частот з частотами звукових коливань спостерігається підсилення інтенсивності відбитих хвиль дифузного звукового поля. Слід зазначити, що це підсилення на резонансних частотах приміщення є найбільш істотним для “чистих” музичних звуків. Проте і для шумових процесів не можна не враховувати резонансні властивості приміщень, які значно впливають на розподіл інтенсивності шуму в приміщенні.

Отже, для звукового поля в тривимірному замкнутому просторі характерним є те, що практично в будь-якій точці об'єму приміщення, поряд зі звуковими коливаннями хвиль, які поширюються від джерела, наявні коливання відбитих звукових хвиль, що знаходяться в складній взаємодії між собою та з прямими хвилями, які поширюються від джерела.

Наявність дифузного (відбитого) звукового поля в приміщенні істотно впливає на акустичний процес, змінює характер розподілу звукової енергії і значно збільшує рівень шуму в приміщенні.

У вільному звуковому просторі, тобто в об'ємі, при поширенні в якому звукові хвилі не зустрічають відбивальних поверхонь, інтенсивність звуку I зменшується обернено пропорційно до квадрату відстані r від джерела.

Виходячи з цього можна записати наступні співвідношення:

$$I_1 = K \cdot \frac{1}{r_1^2} \text{ i } I_2 = K \cdot \frac{1}{r_2^2}, \quad (2.18)$$

де r_1 – відстань в безпосередній близькості від джерела, м;

K – коефіцієнтами пропорційності;

r_2 – відстань віддалення від джерела шуму, м.

Знехтувавши коефіцієнтами K , можна скласти пропорції:

$$I_1 \div \frac{1}{r_1^2} \text{ i } I_2 \div \frac{1}{r_2^2}, \text{ звідки } \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}. \quad (2.19)$$

Після логарифмування даний вираз набуде вигляду:

$$10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} = 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}. \quad (2.20)$$

З виразу (2.20) визначаємо рівень звуку в точці, що знаходиться на відстані r_2 від джерела:

$$L_1 - L_2 = 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_0} - 10 \cdot \lg \frac{I_2}{I_0} = 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} \quad (2.21)$$

або

$$L_2 = L_1 - 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_0} = L_1 - 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_0} \text{ дБ.} \quad (2.22)$$

З формули (2.20) видно, що інтенсивність рівня звуку з поширенням його у вільному просторі зменшується за нелінійною залежністю. Фізичний зміст цього явища пояснюється збільшенням поверхні фронту звукових хвиль з їхнім поширенням при збереженні загальної кількості звукової енергії, що поширюється. Інтенсивність звуку I , яка вимірюється на обмеженій ділянці ΔS загальної поверхні сфери (півсфери) фронту звукових хвиль, спадає за квадратичною залежністю від відстані до джерела і може бути визначена за формулою

$$I = \frac{W \cdot k_{dc}}{\Omega \cdot r^2}, \quad (2.23)$$

де W – звукова потужність джерела, Вт;

k_{dc} – коефіцієнт, що визначає форму діаграми спрямованості поширення звуку;

Ω – просторовий кут випромінювання в стерadianах; $\Omega = 4 \cdot \pi$ при випромінюванні звукової енергії по сфері в навколишній простір; $\Omega = 2 \cdot \pi$ при встановленні джерела на відбивальній поверхні (на підлозі); $\Omega = \frac{\pi}{2}$ при розташуванні джерела звуку поблизу тригранного кута;

r – відстань від точки спостереження до джерела, м.

Отже, формула (2.23) враховує послаблення інтенсивності звуку за рахунок розширення фронту звукових хвиль, що поширюються. У реальних умовах цей фактор не є єдиним, що впливає на інтенсивність звуку. Дуже істотним є молекулярне звукопоглинання повітря, турбулентні і вітрові явища в атмосфері, які значно впливають на згасання звукової енергії при її поширенні у відкритому просторі. Крім того, за рахунок відхилення вгору чи вниз фронту звукових хвиль, відбувається додаткове розсіювання і поглинання звукової енергії.

На рис. 2.3 наведена залежність величини молекулярного звукопоглинання від частоти звуку і відносної вологості повітря.

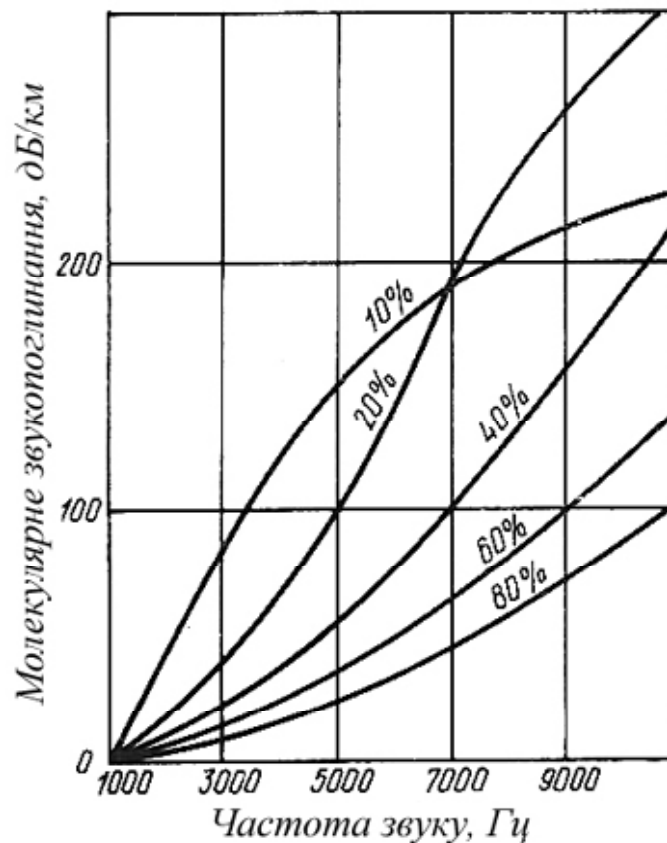


Рис. 2.3. Залежність величини молекулярного звукопоглинання в атмосфері від частоти звуку та відносної вологості повітря.

З графіка видно, що зі збільшенням відносної вологості зменшується молекулярне звукопоглинання повітря. Проте, навіть за великих значень відносної вологості повітря, високочастотні складові звуку зазнають згасання, яке слід враховувати, оскільки воно може бути співрозмірним з результатами розрахунку згасання інтенсивності звуку за формулою (2.23).

Під впливом повітряної турбулентності може спостерігатися додаткове згасання звуку, що для частот 250–4000 Гц може скласти 15–22 дБ/км за слабого вітру і 50–90 дБ/км – за сильного вітру. Виходячи з цього, можна вважати, що формула (2.23) дає наближену оцінку величини згасання рівня шуму при його поширенні на відкритому майданчику і може бути застосована лише при порівняно невеликих відстанях від джерела шуму, а також у випадку низькочастотних шумів з порівняно малим згасанням в атмосфері.

За необхідності більш точного визначення згасання високочастотних складових звукового спектра на відстані декількох сотень метрів від джерела може бути застосована формула:

$$L_2 = L_1 - 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} - \left[r_2 \cdot \left(\frac{l_a + l_m}{1000} \right) \right], \text{ дБ}, \quad (2.24)$$

де L_2 – рівень шуму на відстані r_2 від джерела, дБ;

L_1 – рівень шуму на відстані r_1 від джерела, дБ;

l_a – величина згасання звуку за рахунок молекулярного поглинання в атмосфері, визначається за графіком рис. 2.3, дБ;

l_m – величина згасання звуку за рахунок турбулентних явищ в атмосфері, дБ.

Показник, що характеризує величину згасання звуку за рахунок турбулентних явищ в атмосфері має надзвичайно багато значень. Тому користуватися ним в розрахунках і проектуванні засобів боротьби з виробничим шумом, особливо в умовах житлової і промислової забудови території, необов'язково. Звідси формула (2.24) може бути спрощена і матиме вигляд:

$$L_2 = L_1 - 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} - r_2 \cdot \frac{l_a \cdot r_2}{1000}, \text{ дБ}. \quad (2.25)$$

Згасання звукових коливань за рахунок турбулентних явищ в атмосфері повітря має випадковий характер, залежить від багатьох обставин і умов: забудови прилеглої до джерела шуму території; сили і напрямку вітру; рельєфу місцевості; температури і вологості повітря.

Висновки до розділу

Для розроблення та реалізації ефективних заходів щодо зниження шумового забруднення довкілля слід дослідити природу та закономірності виникнення і поширення шуму.

Причинами виробничого шуму є робота виробничого обладнання – технологічного, транспортного, транспортно-технологічного, устаткування, що працює під тиском, аспіраційного обладнання, вентиляторів тощо.

Загальний шум машини формується з сукупності шумів, що генеруються у складових устаткування (деталях, вузлах, приводах, передавальних механізмах, підшипникових вузлах, органах різання та ін.), зокрема, в зубчастих передачах, редукторах, підшипниках тощо.

За причинами виникнення виробничий шум поділяється на механічний, аеродинамічний, гідродинамічний та електромагнітний. Переважно, домінуючими у виробничому устаткуванні, є механічний та аеродинамічний шуми, а гідродинамічний та електромагнітний маскуються вище зазначеними.

За походженням механічний шум окремих механізмів та вузлів технологічного обладнання можна розділити на безпосередньо не пов'язаний з технологічними операціями (наприклад, шум підшипників кочення, зубчастих та пасових передач тощо) і шум, безпосередньо пов'язаний з виконанням технологічних операцій (генерується внаслідок коливань всієї системи “верстат–заготовка” під час механічної обробки предметів праці, дії згинальних та крутних моментів робочої частини валів, коливань робочих інструментів та ін).

Аеродинамічний шум пов'язаний з повітряним середовищем і залежно від причин виникнення поділяється на: шум випускання газу в атмосферу; шум відривних течій; шум від неоднорідності потоку; турбулентний шум; шум надзвукових течій; шум резонатора або механічної коливної системи в нестійких течіях; автоколивний шум.

Звукові хвилі від джерел емісії поширюються в певну область тривимірного простору – формується звукове поле.

Під час випромінювання шуму в простір характер звукового поля змінюється залежно від віддалі до джерела і наявності звуковідбивальних

поверхонь, при цьому можуть утворюватись області ближнього поля, прямого звуку (вільного поля) і відбитого поля.

Розуміння природи шуму та закономірностей його поширення дозволить розробити підходи щодо його дослідження та запропонувати ефективні заходи щодо запобігання акустичному забрудненню довкілля.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Передумови акустичних вимірювань

Характерною рисою акустичних вимірювань є значний діапазон частот та амплітуд: охоплює інтервал від мілігерц до сотень кілогерц (для повітряного шуму) і до мегагерц (у разі поширення шуму в рідинах), тоді як рівні тиску варіюються від одиниць децибел нижче нуля (що відповідає $2 \cdot 10^{-5}$ Па) до 200 дБ чи вище. Вимірювання проводять в акустичних середовищах, які відрізняються за властивостями поширення звуку: вільному, відбивному (дифузному) чи квазидифузному звукових полях, а також у звуковимірювальних камерах невеликого об'єму без поширення звукових хвиль. Використовуються як об'єктивні, так і суб'єктивні підходи до вимірювання.

Класифікація методів акустичних вимірювань включає поділ на усталені (стандартизовані) та нестандартизовані. Усталені методи закріплені у національних та галузевих нормативах (стандартах). Вони потребують наявності вимірювальних засобів, до яких у цих нормативах висунуті технічні вимоги, а також методики їх випробувань та калібрування. При цьому об'єктом вимірювань є ті параметри, що визначені стандартами. Нестандартизовані методи застосовують тоді, коли потрібно вирішити специфічні задачі, наприклад, оцінити звукоізоляцію кабін управління обладнанням, і, згодом, вони такі методи можуть отримати статус стандартів.

Також методи акустичних вимірювань розмежовують на лабораторні та польові (натурні). Лабораторні вимірювання можуть здійснюватися у спеціалізованих камерах – або без відбиття звуку (заглушених), або з інтенсивним відбиттям (ревербераційних) – за дотримання чітко визначених зовнішніх умов: температури, атмосферного тиску, відносної вологості повітря, а також параметрів електромережі (напруги й частоти). Польові

методи застосовуються безпосередньо у реальних умовах, в тому числі й на виробничих об'єктах.

Вимірювання шуму на підприємствах, як правило, виконуються з метою визначення шумових характеристик джерел (машин) або з метою встановлення параметрів шуму на робочих місцях, що характеризують вплив шуму на працівників. Основними шумовими характеристиками джерел шуму, які визначаються в процесі вимірювання в октавних або 1/3-октавних смугах частот є: рівень звукового тиску в контрольних точках; рівень звуку, виміряний шумоміром з частотною характеристикою "А" в контрольних точках; рівень звукової потужності; максимальний показник спрямованості випромінювання шуму, а також коректований рівень звукової потужності; максимальний показник спрямованості випромінювання шуму або їх еквівалентні рівні. Вимірювання октавних рівнів звукового тиску та рівня звуку може виконуватися на опорному радіусі R_x ($R_x = 1,3$ м або 10 м), а також на відстані 1 м від зовнішнього контура машини.

Вибір конкретної шумової характеристики, яку збираються вимірювати, детермінується типом джерела шуму, природою самого шуму, а також цілями та обставинами проведення вимірювальних робіт.

Для стандартних вимірювань за точними методами застосовують шумовимірювальні прилади 1-го класу з фільтрами 1-го і 2-го класів. Для технічних методів застосовують шумовимірювальні прилади і фільтри 1-го і 2-го класів, а за орієнтовним методом будь-яких класів, крім нульового, застосовуваного лише як зразковий засіб вимірювання при перевірці приладів.

Базові стандарти з шумометрії встановлюють стандартний діапазон вимірювань 100 Гц - 10 кГц в 1/3-октавних смугах і 125 Гц - 8 кГц в октавних смугах частот. Поза цим діапазоном потрібно проводити спеціальні дослідження з визначення похибок вимірювань. У державних і галузевих стандартах на методи вимірювання шумових характеристик визначених видів машин застосовують методи вимірювань, встановлені в базових стандартах, і

враховують специфіку випробовуваних виробів: умови встановлення, навантаження й ін.

Стандартними вимірюваними і розраховуваними величинами є: середні рівні звукового тиску L_m (дБ) у відповідному частотному діапазоні (в октавних смугах з такими середньгеометричними частотами: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 і 8000 Гц; допускається вимірювання також у третиннооктавних смугах частот) або середні рівні звуку L_A (дБА) для постійних широкосмугових і імпульсних шумів; еквівалентний рівень звуку $L_{Aекв}$ (дБА) та середній еквівалентний рівень звуку для непостійних шумів (крім імпульсних).

Еквівалентним рівнем звуку непостійного шуму є рівень звуку постійного широкосмугового не імпульсного шуму, що здійснює такий самий вплив на людину, як і даний непостійний шум.

Еквівалентний рівень звуку (дБА) розраховується за формулою:

$$L_{Aекв} = 10 \lg \frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^n f_i \cdot 10^{0,1L_i} \right), \quad (3.1)$$

де f_i – частина відліків у даному інтервалі рівнів у загальній кількості відліків, %;

L_i – середній рівень звуку в даному інтервалі, дБА;

$i=1, 2 \dots n$ – номери відліків.

Інтервали (за рівнями звуку) обираються таким чином: у межах 38–42 дБА, далі 43–47 дБА, потім 48–52 дБА, і так далі.

Відповідно до стандартизованих вимог вимірювання шуму потрібно виконувати в реальних умовах, тобто там, де знаходяться машина і людина. При вимірюванні промислових шумів спостерігається багато небажаних чинників, наприклад, досить високий рівень шумового фону, відбивальні поверхні, шум від різних джерел. Кожен з цих чинників впливає на точність вимірюваного рівня звукового тиску. Для того, щоб забезпечити точність вимірювань, необхідні відповідні запобіжні заходи.

У разі вимірювання шуму, спричиненого промисловим устаткуванням, на відкритому повітрі характеристики зовнішнього середовища подібні до характеристик напівзвукопоглинальної камери, якщо дотримуються такі умови:

1) досліджувана ділянка вільна від великих поверхонь, що відбивають звук, наприклад будівель або височин у межах 30,5 м від випробовуваної машини або мікрофона;

2) коефіцієнт поглинання звуку відбивальної поверхні не більше 0,2;

3) рівні шумового фону принаймні на 10 дБ нижчі вимірюваного рівня шуму;

4) рівень шуму вітру на 10 дБ нижче вимірюваного рівня шуму; для зменшення впливу вітру на мікрофон можна використовувати спеціальні захисні кришки, однак при закритій кришці різниця у вимірах може досягати 10 дБ;

5) не рекомендується виконувати вимірювання біля поверхні землі.

У виробничих умовах рівень звуку непостійний і змінюється в часі, що зазвичай реєструється шумоміром. Рівень звукового тиску – це величина, що відповідає двадцятикратному логарифмові відношення середньоквадратичної величини звукового тиску до порогової величини.

Рівень середнього звукового тиску в децибелах не є середньою величиною показів приладу, тому на практиці виконують усереднення відхилень вимірювального приладу. Якщо сумарне відхилення складає 6 дБ або менше, то середнє значення двох показів у децибелах є приблизно середнім результатом показів. Якщо відхилення більше 6 дБ, то за середнє значення приймають величину на 3 дБ меншу, ніж найбільша величина, показана вимірювальним приладом. Це правило зумовлене характером додавання логарифмічних величин.

Іноді неможливо припинити роботу агрегату або припинити роботу на виробничих ділянках для того, щоб виміряти рівень звуку однієї машини. Тоді вимірювання слід виконувати не в робочий час, а під час перерв. За

повторного ввімкнення машини вимірювання потрібно виконувати на тій самій ділянці. За допомогою графіка на рис. 3.1 можна визначити рівень шуму, що створюється машиною, за визначеного впливу фону.

Якщо фон на 10 дБ нижчий рівня звукового тиску працюючої випробовуваної машини, то вплив фону, загалом, можна не брати до уваги. Бажано, щоб фон був на 10 дБ нижчим за акустичний сигнал (тоді ним можна знехтувати).

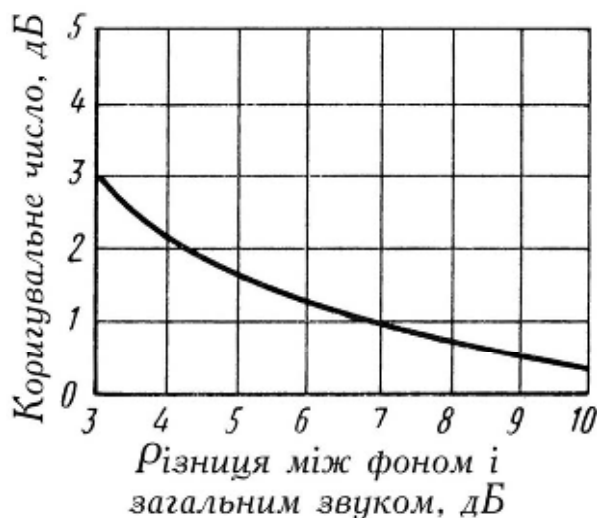


Рис. 3.1. Коригувальний графік рівня звукового тиску L_p з урахуванням рівня фону (коригувальне число віднімається від вимірюваних рівнів звукового тиску октавної смуги).

Щодо шумів, які є як постійними, так і мають імпульсний характер, то облік цих показників вимагає проведення вимірювань принаймні трьох разів у кожній точці, після чого отримані дані підлягають усередненню. Стосовно змінних шумів, як вже було зазначено раніше, час, протягом якого проводяться вимірювання у кожній точці, має становити мінімум півгодини. Повторні заміри на робочих місцях належить здійснювати кожні півроку.

Якщо ж середній рівень звукового тиску зафіксовано у низці точок і розбіжність між отриманими показниками не перевищує 5 дБ, його розрахунок виконується за такою формулою:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^n L_i / n, \quad (3.2)$$

де L_i - рівень звукового тиску в i -тій точці, дБ;

n - кількість вимірювань на робочому місці.

Якщо різниця у результатах вимірювань відмінна від 5 дБ, то для визначення середнього рівня звукового тиску застосовується метод енергетичного додавання:

$$\bar{L} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} - 10 \lg n. \quad (3.3)$$

Співвідношення між рівнем звукової потужності та середнім рівнем звукового тиску, виміряного на уявній поверхні, можна описати за допомогою рівняння:

Зв'язок між акустичною потужністю та середнім рівнем звукового тиском, зафіксованим на уявній поверхні, можна виразити наступною формулою:

$$L_W = \bar{L} + 10 \cdot \lg A, \quad (3.4)$$

де A – площа вимірювальної поверхні, м².

3.2. Апаратура для акустичних вимірювань

Рівень шуму можна вимірювати, використовуючи низку пристроїв. Якщо ці прилади з'єднати послідовно, формується так званий вимірювальний тракт. Те, який саме перелік апаратури буде задіяно у цьому тракті, залежить від конкретних умов, за яких проводяться вимірювання, від методу фіксації отриманих даних, а також від низки інших факторів, що може спричинити варіації у кількості приладів.

Схема зазвичай застосовуваних на практиці трактів для вимірювання шуму наведена на рис. 3.2.

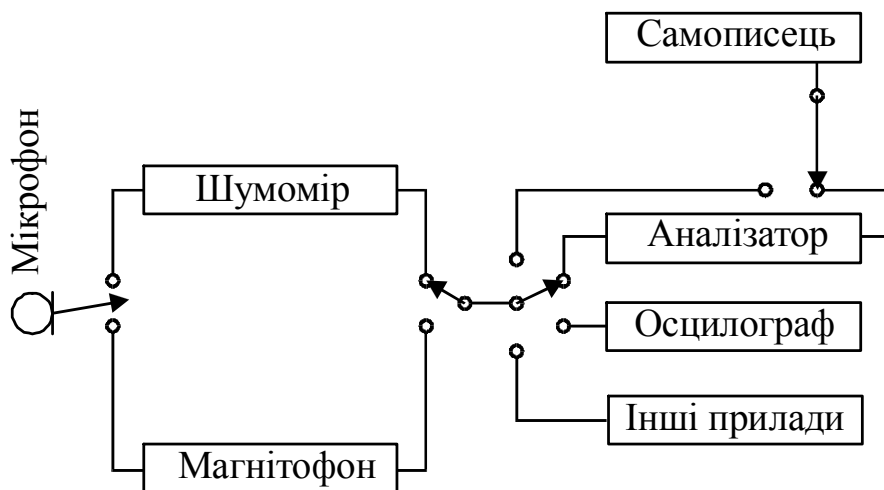


Рис. 3.2. Блок-схема універсального шумовимірювального тракту.

Обладнання, перелічене у блок-схемі, дає змогу:

- здійснювати вимірювання рівнів звукового тиску та рівнів звуку;
- візуалізувати на екрані осцилограми значень рівнів звукового тиску;
- фіксувати зміну рівнів звукового тиску з плином часу;
- аналізувати частотні спектри шуму та реєструвати спектрограми;
- досліджувати статистичні характеристики шумів або визначати їхні еквівалентні рівні (за наявності серед іншого обладнання відповідних статистичних аналізаторів чи дозиметрів).

У більшості ситуацій для вимірювання шуму достатньо обмежитися використанням шумоміра та частотного аналізатора; цей набір можна доповнити реєстратором рівнів.

Шумомір – це пристрій, призначений для вимірювання рівня звукового тиску та рівня звуку, який має частотні характеристики А, В, С, D, Лін та часові характеристики F, S, I, «Пік» або ж деякі з них. Окрім того, у багатьох акустичних вимірювальних ланцюгах шумомір слугує проміжним вузлом, що вмикається між мікрофоном та аналізатором частотного спектра.

Для проведення акустичних вимірювань у роботі було застосовано вимірювач шуму та вібрації ВШВ-003-М2 (має дійсне свідоцтво про повірку), що дозволяє проводити вимірювання рівня звуку з частотними

характеристиками А, В, С; рівня звукового тиску в діапазоні частот від 2 Гц до 18 кГц та в октавних смугах у межах від 2 Гц до 8 кГц у вільному та дифузному полях; а також середніх квадратичних значень віброприскорення і віброшвидкості:

- на території промислових об'єктів та у житлових районах з метою збереження здоров'я населення;
- під час розробки та контролю якості готових виробів;
- в процесі досліджень та випробувань машин і механізмів.

ВШВ-003-М2 належить до систем засобів вимірювання шуму та вібрації і може функціонувати як у лабораторних, так і у виробничих чи польових умовах. За умовами експлуатації ВШВ-003-М2 відповідає вимогам 2-ї групи, а діапазон робочих температур навколишнього повітря становить від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$. ВШВ-003-М2 класифікується як прилад для вимірювання шуму 1-го класу точності.

Вхідним давачем, що здійснює перетворення шумових коливань в електричний сигнал, є конденсаторний мікрофонний капсуль М101, а вібраційних – п'єзоелектричні вібровимірювальні перетворювачі ДН-3-М1, ДН-4-М1.

У ВШВ-003-М2 застосовано принцип перетворення звукових та механічних коливань досліджуваних об'єктів у пропорційні їм електричні сигнали, які потім підсилюються, трансформуються та вимірюються вимірювальним ланцюгом.

Конструктивно ВШВ-003-М2 складається з таких елементів: вимірювальний прилад; давачі (капсуль або віброперетворювачі); еквівалент капсуля або віброперетворювача; мікрофонний попередній підсилювач ВПМ-101; блок живлення; екран П11; заглушка; з'єднувальний кабель.

На лицьову панель приладу виведені наступні органи управління, регулювання та індикації (рис. 3.3):

- перемикач ВИД РОБОТИ (поз. 4) призначений для ввімкнення вимірювача; для контролю стану батарей; для вмикання вимірювача у режим

калібрування; для вмикання вимірювача в режим вимірювання із сталою часу F (швидко), S (повільно), 10S (10 с);

- стрілковий прилад (поз. 1) – призначений для відліку вимірюваної величини і контролю напруги живлення;

- перемикачі ДЛТ1, dВ та ДЛТ2, dВ, відповідно позиції 12 та 9 і одиничні індикатори 14, які призначені для вибору межі вимірювання рівня звукового тиску, віброприскорення і віброшвидкості;

- індикатор ПРГ (поз. 13) – для індикації перенавантаження вимірювального тракту;

- кнопка a/V – для ввімкнення вимірювача в режим вимірювання віброшвидкості;

- перемикач ФЛТ, Hz (поз. 5) з положеннями 1, 10 – для ввімкнення частотних фільтрів 1 та 10 Гц, які обмежують частотний діапазон при вимірюванні віброшвидкості, віброприскорення; ЛНН – для ввімкнення частотних фільтрів 20 кГц, які обмежують частотний діапазон при вимірюванні рівня звукового тиску за характеристикою ЛНН; А, В, С – для ввімкнення коригувальних фільтрів А, В, С; ОКТ – для ввімкнення вимірювача в режим частотного аналізу в октавних смугах;

- перемикач ФЛТ, ОКТ (поз. 8) з кнопкою кНHz/Hz 7 для ввімкнення одного з чотирнадцяти октавних фільтрів з середньгеометричними частотами 1 Гц...8 кГц;

- кнопка 10 кНHz / 4 кНHz – для ввімкнення частотних фільтрів 10 кГц або 4 кГц, які обмежують частотний діапазон при вимірюванні віброприскорення, віброшвидкості;

- кнопка СВ/ДИФ – для вимірювання в режимі вільного або дифузійного поля;

- гнізда (поз. 3 і 2 відповідно) – вихід з калібрувального генератора та для під'єднання попереднього підсилювача ВПМ-101.

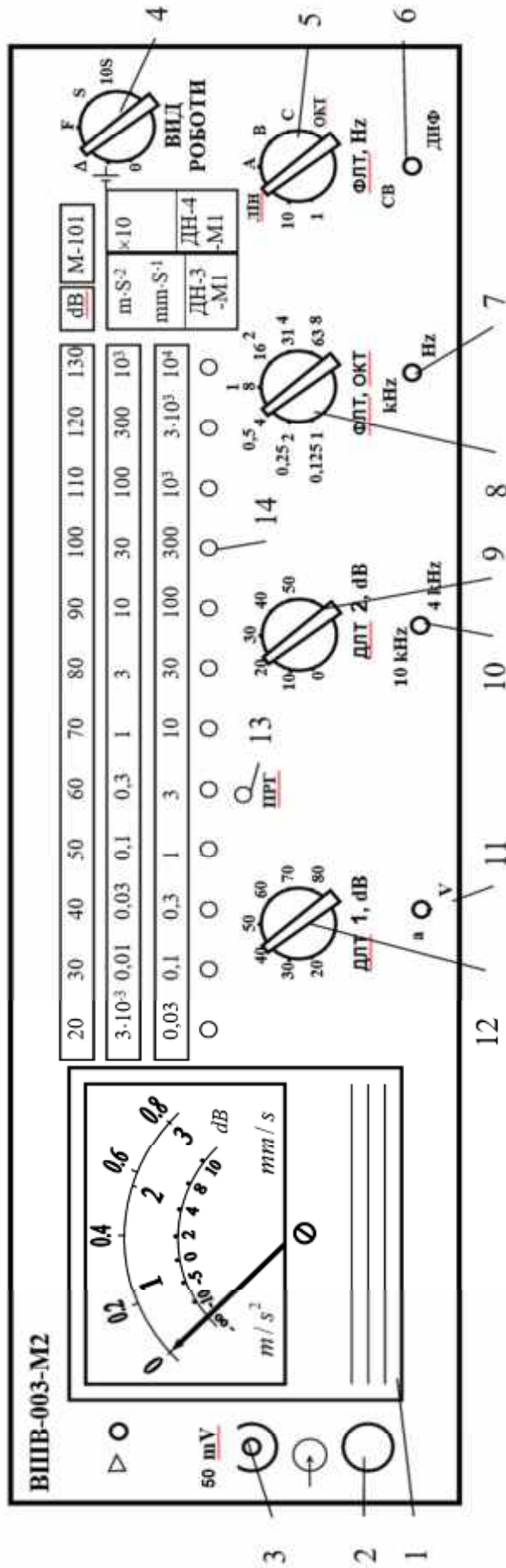


Рис. 3.3. Загальний вигляд приладу ВШВ-003-М2 (передня панель):

1 – стрілковий прилад; 2 – вхід для приєднання попереднього підсилювача; 3 – вихід з калібрувального генератора; 4 – перемикач “ВИД РОБОТИ”; 5 – перемикач “ФЛТ, Нз”; 6 – кнопка “СВ/ДИФ”; 7 – кнопка “кНз/Нз”; 8 – перемикач “ФЛТ ОКТ”; 9 – кнопка “10 кНз/4 кНз”; 10 – перемикач “ДЛТ 2, дВ”; 11 – кнопка “a/V”; 12 – перемикач “ДЛТ 1, дВ”; 13 – індикатор “ПРГ”; 14 – індикатори рівня

На правій боковій стінці вимірювального приладу розміщені: вихід змінної напруги для підключення до приладу вимірювальних або регулювальних приладів.

На задній стінці вимірювального приладу розміщено відсік для батарей.

3.3. Проведення досліджень у виробничих умовах

3.3.1. Опис підприємства з розглядом основних емітентів виробничого шуму, який поширюється в напрямі житлової забудови.

З метою дослідження шумового забруднення селітебної території промисловим шумом та розроблення ефективних заходів його мінімізації проведено виробничі дослідження на Українсько-англійському спільному підприємстві у формі товариства з обмеженою відповідальністю "ГАЛКА ЛТД" (СП «Галка-ЛТД»).

Територія СП «Галка-ЛТД» (далі – підприємство) розташована в північно-східній частині м. Львів за адресою вул. Заповітна, 1. З заходу територія підприємства межує з проїзною частиною вул. Заповітної, зі сходу – вул. Януша (додаток А). З півночі територія підприємства межує з промисловими територіями, які виходять на вул. Городницьку. Південно-східна частина підприємства (в напрямку вул. Мельничука) межує із зоною житлової забудови, від якої територія підприємства відділена цегляною стіною висотою 3 м.

На рис. 3.4 наведено загальний вигляд території підприємства, де штриховою лінією наведена межа між територією підприємства та зоною житлової забудови.

В результаті виробничої діяльності підприємства виникає виробничий шум механічного, аеродинамічного, гідродинамічного та електромагнітного походження. Робота устаткування, яке генерує виробничий шум, що

поширюється в напрямку житлової забудови, пов'язана, в основному, з виробничою діяльністю цеху №2 підприємства.



Рис. 3.4. Загальний вигляд території підприємства СП «Галка-ЛТД».

Так, до основних джерел шуму, належать:

- ресивери (рис. 3.5 а),
- приводи вентиляторів та корпуси повітроводів (рис. 3.5 б),
- циклони (рис. 3.5 в).

Також виробничий шум частково проникає з виробничого приміщення крізь стіни огорожувальних конструкцій.

Виробничий шум, проникаючи на територію житлової забудови, створює акустичне забруднення.

За результатами вимірювань рівнів шуму на селітебній території, проведеними фахівцями Львівського міського відділу ДУ «ЛОЛЦ ДСЕС

України» (додаток Б), встановлено перевищення допустимих рівнів шуму в нічний період часу.

*a**б**в*

Рис. 3.5. Основні джерела емісії виробничого шуму.

Особливістю розміщення промислового майданчика СП «Галка-ЛТД» є те, що впродовж 90-х і початку 2000-их років в межах санітарно-захисної зони підприємства в напрямку вул. Мельничука виникла дачна забудова, яка, з часом, перетворилась в житлову зону. Як наслідок – шумове забруднення новоутвореної селітебної території перевищує допустимі норми.

За результатами досліджень акустичного забруднення селітебної території від роботи виробничого устаткування підприємства на території житлової забудови на відстані 2 м від житлової конструкції (за адресою вул. Мельничука, 22, м. Львів), встановлено перевищення допустимих рівнів звуку на 1-3 дБА відносно допустимого значення 45 дБА [8]).

На рис. 3.6 наведені спектрограми фактичних рівнів звукового тиску, виміряних в октавних смугах частот з відповідними середньгеометричними частотами, та допустимих значень (за ГС-40) згідно [8].

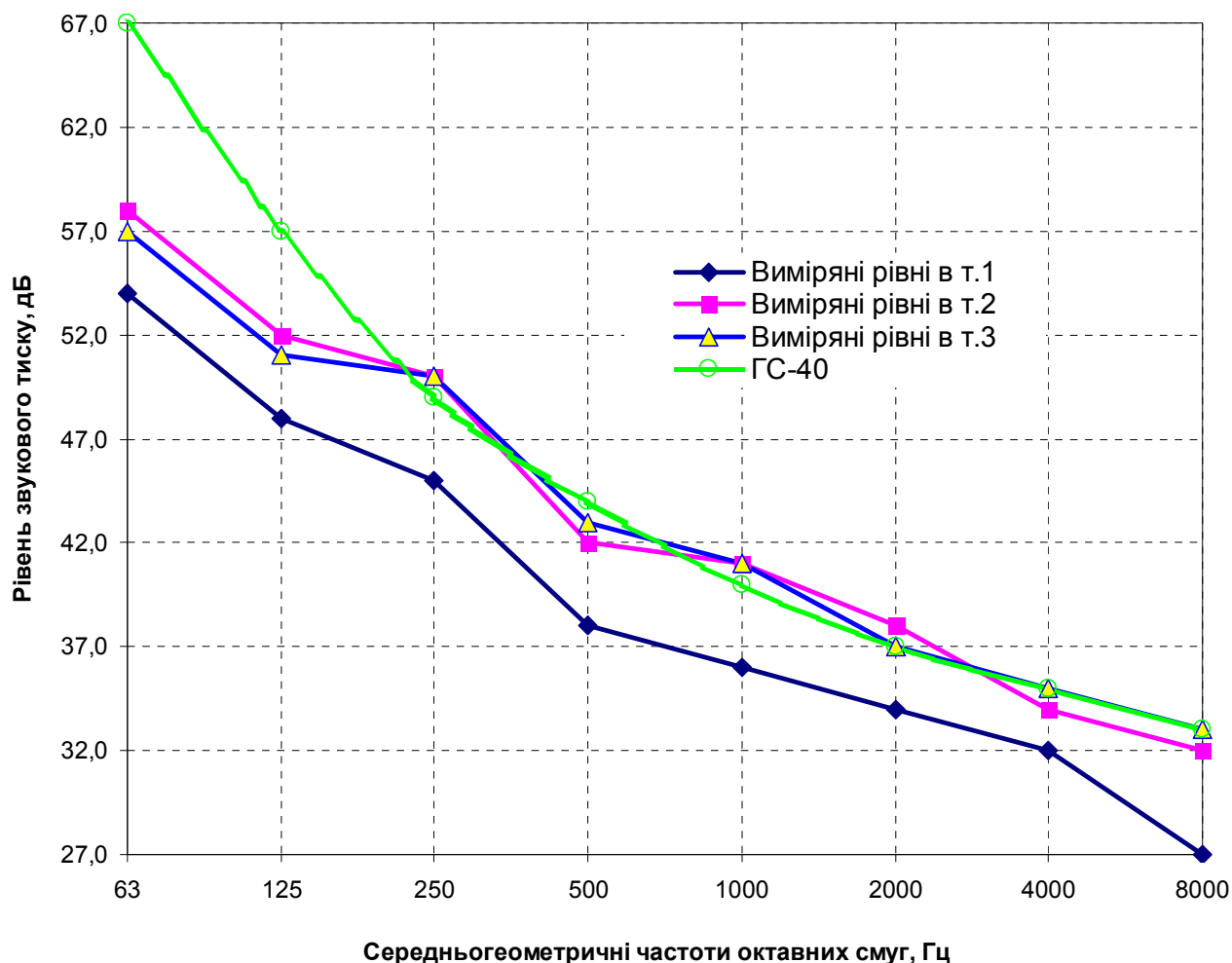


Рис. 3.6. Спектрограми рівнів шуму на території житлової забудови, спричиненого виробничою діяльністю підприємства.

Як видно з рис. 3.6, спостерігається перевищення рівнів звукового тиску в діапазоні середніх та високих частот – в смугах з середньгеометричними частотами 250, 1000 та 2000 Гц.

3.3.2. Аналіз основних джерел шуму та засобів звукоізоляції.

Серед усіх джерел шуму, що наявні на території СП «Галка-ЛТД», в даній роботі розглядаються лише ті, які генерують виробничий шум, що поширюється в напрямку житлової забудови.

На рис. 3.7 наведена схема розташування основних джерел шуму та шумозахисного екрану.

Ресивери P1 та P2 (рис. 3.7) є джерелами в основному аеродинамічного шуму, який утворюється під час подачі повітря в повітрозбірники і створюваний явищами нестійкості поширення повітряного потоку. Оскільки ресивери генерують шум не постійно (лише під час роботи компресора), а також його рівень не високий і в основному маскується іншими джерелами, то ресиверами, як джерелами шуму, в розробленні шумознижувальних заходів можемо знехтувати.

Пиловловники – циклони Ц1 - Ц4, є джерелами більш інтенсивного шуму, який складається з механічного та аеродинамічного шумів. Так, в околі циклона Ц1 в точці *m. 1* (рис. 3.7) вимірний рівень звуку становить 62 дБА.

Загальний шум експаустерних систем, до складу яких входять циклони, складається з шумів, які виникають у деталях та вузлах, приводах, передавальних механізмах, підшипникових вузлах тощо.

Найбільш інтенсивним є шум, створюваний вентиляторами та їх приводами. Особливу увагу слід звернути на привід вентилятора 4 (рис. 3.7), робота якого спричиняє рівень звуку 84 дБА (вимірний в *m. 2*). Для зниження інтенсивності поширення випромінюваного шуму устаткування розміщено в звукоізолювальній будівельній конструкції. Вимірювання шуму

зовні довели ефективність застосованих заходів, оскільки рівень звуку (виміряний в *т. 3*) склав 60 дБА.

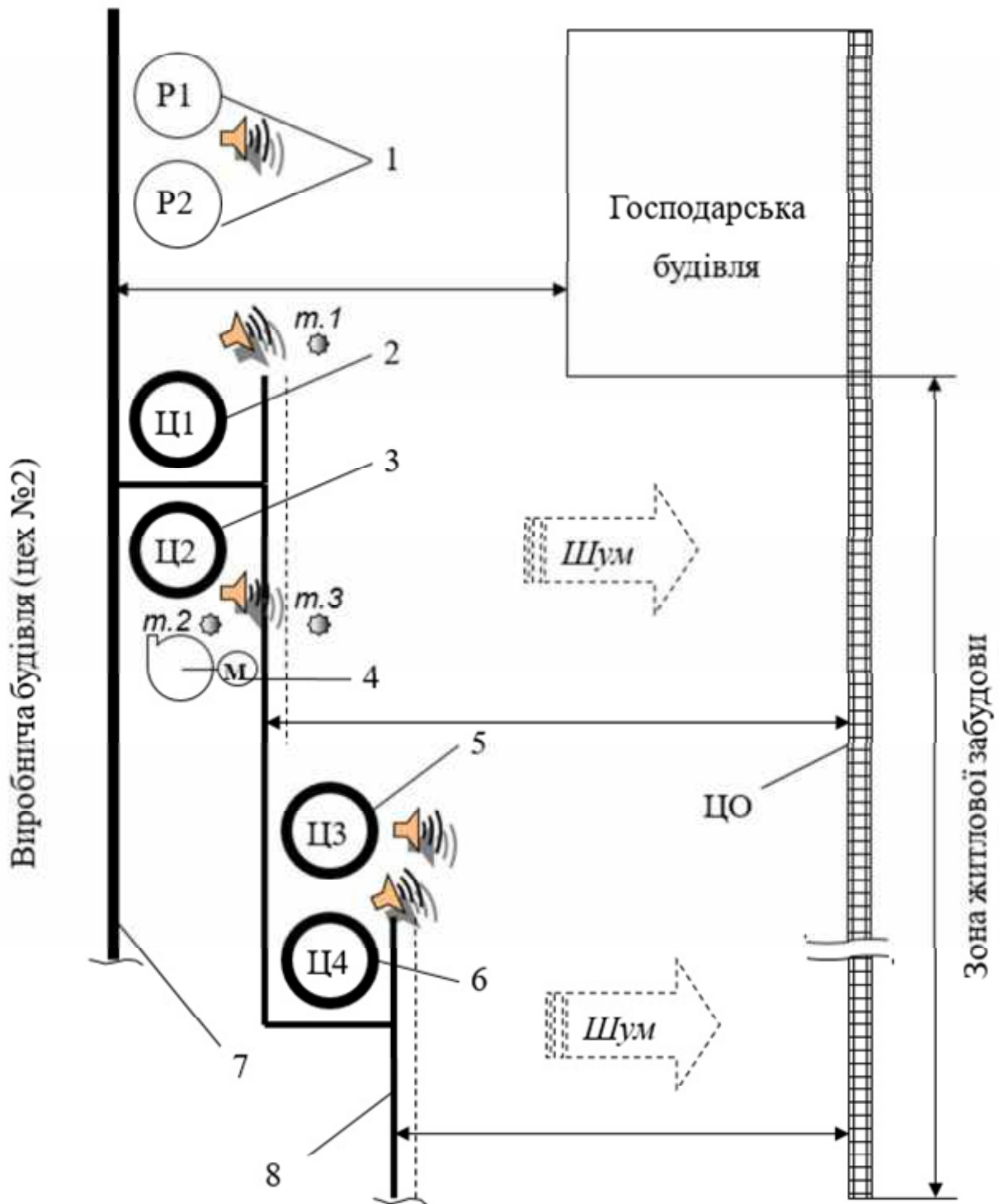


Рис. 3.7. Схема розташування основних джерел шуму та шумозахисного екрана:

1 – ресивери Р1, Р2; 2 і 3 – циклони, відповідно Ц1 і Ц2; 4 – привід вентилятора; 5 і 6 – циклони, відповідно Ц3 і Ц4; 7 – стіна будівлі цеху;

8 – звукоізолювальна огорожа; ЦО – цегляна огорожа підприємства; т. 1-3 – контрольні точки вимірювання генерованого виробничого шуму.

Щоправда, в даному випадку ефект зниження шуму вентиляційної установки неповний, оскільки не дотримане правило – не можна кріпити безпосередньо до шумозахисного каркасу і конструкцій будівель електродвигуни, вентилятори і інше устаткування, що спричиняють вібрацію і, відповідно, є джерелом структурного шуму (див. рис. 3.5 в).

Механічний шум зумовлений коливаннями деталей машин і їх взаємним переміщенням. Основними джерелами шумів механічного походження в даному випадку є приводи вентиляторів та самі відцентрові вентилятори (шум виникає від вібрації лопатевого колеса, кожуха та електродвигуна, а також від підшипників, механізму передачі та інших елементів вентиляційної установки), а також повітроводи та циклони (виникає шум внаслідок ударів та тертя твердих частинок матеріалів, які переміщуються в витяжних вентиляційних системах, до корпусів повітроводів та самих циклонів).

Механічний шум спричиняється силовими впливами незрівноважених обертових мас, ударами в зчленуваннях деталей та в зазорах, рухом матеріалів по трубопроводах, коливаннями деталей машин, які спричинені силами немеханічної природи і т.п. Ці коливання є причиною як повітряного, так і структурного шуму.

Оскільки конструкції і деталі, які випромінюють механічний шум, є розподіленими системами з численними резонансними частотами, спектр механічного шуму займає широкий діапазон частот. У ньому наявні складові на зазначених резонансних частотах і на частоті ударів та їхніх гармонік. Наявність високочастотних складових у механічному шумі призводить до того, що, як правило, він суб'єктивно дуже неприємний. Коливання рухомих деталей передаються корпусу (станині, кожуху), що змінює спектр коливань і випромінюваного шуму.

Процес виникнення механічного шуму є складним, оскільки визначальними чинниками тут є, крім форми, розмірів, кількості обертів, типу конструкції, механічних властивостей матеріалу, способу збудження коливань, також стан поверхонь тіл, які взаємодіють між собою, поверхонь, що труться і їхнє змащення. Розрахунковим шляхом визначити випромінюване звукове поле зазвичай не вдається.

Джерелами аеродинамічних шумів в даному випадку є всмоктувальні патрубки, повітроводи, лопаті вентиляторів, корпуси циклонів та повітровипускні патрубки.

Аеродинамічний вентиляційний шум утворюється внаслідок вихороутворення біля лопатей колеса і кожуха вентилятора, головним чином на вході і виході, а також в результаті періодичних пульсацій повітря, які відчуються також у вигляді шуму.

Через коливання недостатньо жорстких стінок повітроводів можливий автоколивний аеродинамічний шум, що виникає внаслідок автоколивань пружних конструкцій в газі (аеропружні коливання).

Аеродинамічний і механічний шуми, що виникають при роботі вентиляційної установки, поширюються повітряним середовищем, що рухається в каналах і повітроводах, по їхніх стінках або по масиву, в якому вони прокладені. Крім того, механічний шум поширюється через основу і фундамент вентиляційної установки по огорожувальних конструкціях будівлі, через які проникає в приміщення та навколишнє середовище.

З метою зниження шумового забруднення навколишнього середовища вентиляційні установки та циклони оточені звукоізолювальною огорожею (поз.8 рис. 3.7), яка конструктивно складається з каркаса, на якому закріплені акустичні панелі. Основу акустичних панелей складає волокнистий звукопоглинальний матеріал, розташований між тонкими стальними оцинкованими листами.

В процесі дослідження виявлені недоліки наявної звукоізоляції пиловловників. Оскільки в циклонів Ц1 (рис. 3.7) та Ц4 (на рис. 3.5 (б) та рис.

3.7) закриті звукоізолювальним огороженням лише три сторони, а циклон ЦЗ (рис. 3.7) немає шумозахисного огороження взагалі, що сприяє інтенсивному шумовому випромінюванню зазначених джерел. Відповідно, необхідно вжити додаткових заходів щодо забезпечення надійної звукоізоляції.

Висновки до розділу

Експериментальні дослідження в галузі промислової акустики та захисту навколишнього середовища здійснюються з застосуванням стандартизованих та нестандартизованих методів акустичних вимірювань, які можуть проводитись як у лабораторних, так і натурних (зокрема, виробничих) умовах.

Для проведення акустичних вимірювань в роботі використано вимірювач шуму і вібрації ВШВ-003-М2 з можливістю проведення вимірювання рівня звуку (передбачені частотні характеристики А, В, С); рівня звукового тиску (в широкому діапазоні частот: 2 Гц - 18 кГц, а також в діапазоні частот від 2 кГц - 8 кГц октавних смуг у вільному і дифузійному полях); середніх квадратичних значень віброприскорення і віброшвидкості.

З метою дослідження шумового забруднення селітебної території промисловим шумом та подальшого розроблення ефективних заходів його мінімізації проведено експериментальні дослідження у виробничих умовах на СП «Галка-ЛТД» з урахуванням результатів акустичних вимірювань на території суміжної житлової забудови.

Основними джерелами виробничого шуму, який поширюється в напрямі житлової забудови є устаткування, що забезпечує роботу цеху №2 підприємства – ресивери, приводи вентиляторів та корпуси повітроводів, циклони.

За результатами вимірювань рівнів шуму на селітебній території встановлено наявність перевищення допустимих рівнів шуму в нічний період часу, що зумовлює необхідність розроблення шумозахисних заходів.

Проведено аналіз основних джерел шуму та засобів звукоізоляції, виявлено недоліки та перспективи шумозниження.

Загальний шум ексгаустерних систем, до складу яких входять циклони, складається з шумів, які виникають у деталях та вузлах, приводах, передавальних механізмах, підшипникових вузлах тощо.

Пиловловники-циклони є джерелами інтенсивного шуму (механічного та аеродинамічного характеру) і генерують рівень звуку 62 дБА. Виявлено, що циклон ЦЗ немає шумозахисного огороження, а в циклонів Ц1 та Ц4 закриті звукоізолювальним огороженням лише з трьох сторін, що сприяє інтенсивному шумовому випромінюванню даних джерел і, відповідно, існує необхідність у підвищення ефективності шумознижувальних заходів.

В порівнянні з іншими джерелами найбільш інтенсивним є шум, створюваний вентиляторами та їх приводами. Для зниження випромінювання шуму устаткування розміщено в звукоізолювальній будівельній конструкції, що дозволило знизити рівень звуку до 60 дБА. Проте тут ефект зниження шуму неповний, оскільки виконане кріплення корпусу вентилятора безпосередньо до шумозахисного каркаса і конструкцій будівель, що спричиняють вібрацію і як наслідок – емісію структурного шуму.

Виконано аналіз причин і закономірностей поширення аеродинамічного та механічного шумів вентиляторних установок, повітроводів та циклонів, виявлено резерви для підвищення ефективності існуючих та розроблення додаткових шумознижувальних заходів.

РОЗДІЛ 4. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

4.1. Передумови зниження шумового забруднення довкілля

4.1.1. Основні шляхи захисту навколишнього середовища від шумового забруднення.

З метою захисту навколишнього природного середовища від шумового забруднення, уникнення негативного впливу шуму на здоров'я населення, забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці у виробничих умовах, які характеризуються підвищеною акустичною активністю, створення комфортних умов трудової діяльності, проживання і рекреації, збереження сприятливих умов життєдіяльності та збереження біологічного різноманіття слід передбачити усі необхідні заходи щодо запобігання виникнення шуму, зниження емісії шуму, мінімізації його рівнів та зміну спрямованості поширення з метою недопущення потенційних негативних наслідків.

На селітебній території забезпечення відповідного акустичного режиму, передбаченого гігієнічними нормативами, зокрема ДСП 173-96 [25], повинно відбуватись шляхом реалізації містобудівних, будівельних та конструктивних рішень, а також відповідних адміністративно-організаційних заходів.

Зокрема, з метою зниження негативного впливу виробничих шумів як на працівників підприємства, так і на довкілля слід застосовувати:

- технічні методи боротьби з шумом (зменшення шуму машин в джерелі виникнення);
- технологічні процеси, які забезпечують рівні звукового тиску на робочих місцях, які гарантують, що рівні шуму не перевищують межі встановлених норм та ін.);
- будівельно–акустичні заходи;

- дистанційне керування шумними машинами;
- засоби індивідуального захисту;
- організаційні заходи (вибір раціонального режиму праці та відпочинку, скорочення часу перебування в шумних умовах, лікувально-профілактичні та інші заходи).

Засоби захисту від шуму, які застосовуються на робочих місцях виробничих і допоміжних приміщень, на території промислових підприємств, в приміщеннях житлових і громадських будівель, а також на селітебній території міст і населених пунктів, за відношенням до об'єкта, який підлягає захисту, поділяються на засоби і методи колективного захисту і засоби індивідуального захисту.

Групові методи захисту, стосовно джерел емісії шуму, класифікуються на ті, що зменшують шум у місці його виникнення, та ті, що послаблюють шум на траєкторії його руху від джерела до захищуваного об'єкта; залежно від методу впровадження вони поділяються на акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби, які знижують шум в джерелі його виникнення, в залежності від характеру взаємодії, поділяються на засоби, що знижують збудження шуму, і засоби, які знижують звуковипромінювальну здатність джерел шуму; в залежності від характеру шумоутворення поділяються на засоби, які знижують шум вібраційного (механічного) походження, аеродинамічного, гідродинамічного та електромагнітного походження.

Акустичні засоби захисту від шуму в залежності від принципу дії поділяються на засоби звукоізоляції, засоби звукопоглинання, засоби віброізоляції, засоби демпферування і глушники шуму.

4.1.2. Визначення необхідної величини зниження рівня шуму.

Розроблення або вибір засобів захисту від шуму виконується на підставі акустичного розрахунку, до складу якого входить:

– виявлення розрахункових точок (РТ), для яких виконується розрахунок і встановлення допустимих рівнів шуму для цих точок;

– визначення очікуваних рівнів звукового тиску (РЗТ) в РТ до впровадження заходів щодо зниження шуму;

– необхідного зниження РЗТ в розрахункових точках.

Методика вибору розрахункових точок, визначення очікуваних рівнів звукового тиску, необхідного зниження шуму, в тому числі зниження рівнів звуку на селітебній території, а також необхідної величини звукоізоляції зовнішніх огорожувальних конструкцій описана в спеціалізованих джерелах, зокрема [17, 26].

Необхідне зниження рівнів звукового тиску ΔL_n , дБ, визначається щодо кожного з джерел шуму, від яких надходить шум в розрахункову точку.

Так, величина необхідного зниження рівнів звукового тиску (в октавних смугах) в розрахунковій точці (чи у приміщенні або на території) як від одного джерела шуму, так і від декількох, які відрізняються між собою за генерованими октавними рівнями звукового тиску менше 10 дБ, визначається:

а) для одного джерела шуму за формулою

$$\Delta L_n = L - L_{\text{дон}} \quad (4.1);$$

б) для декількох джерел шуму за формулою

$$\Delta L_{ni} = L_i - L_{\text{дон}} + 10 \lg n, \quad (4.2)$$

де L , L_i – октавні рівні звукового тиску, які створюються відповідно одним або окремо розглянутим джерелом шуму в розрахунковій точці, дБ;

$L_{\text{дон}}$ - допустимий октавний рівень звукового тиску в розрахунковій точці, дБ;

i – i -те джерело шуму;

n – загальна кількість прийнятих у розрахунок джерел шуму.

Необхідне зниження октавних рівнів звукового тиску у розрахунковій точці або в приміщенні чи на території від декількох джерел шуму, що

відрізняються між собою рівнями звукового тиску (в октавних смугах частот) більше, ніж на 10 дБ, визначається:

а) для кожного з джерел шуму з більш високими рівнями звукового тиску:

$$\Delta L_{ni} = L_i - L_{\text{дон}} + 10 \lg n_1, \quad (4.3)$$

де n_1 – кількість джерел шуму (загальна) з більш високими рівнями звукового тиску;

б) для кожного джерела шуму з більш низькими рівнями звукового тиску:

$$\Delta L_{ni} = L_i - L_{\text{дон}} + 10 \lg(n - n_1) + 5, \quad (4.4)$$

де n – загальна кількість прийнятих у розрахунок джерел шуму.

При підрахунку сумарного рівня звукового тиску (в октавних смугах), який необхідно зменшити в точках розрахунку, що розташовані на селітебній території чи на ділянках виробничих об'єктів, беруться до уваги такі складові: джерела емісії шуму, фізично розміщені на цих територіях (устаткування, агрегати тощо), разом з елементами огорожувальних конструкцій будівель (стіни, вікна, перекриття та інші), що зорієнтовані на розрахункові точки, через які акустична енергія з приміщень потрапляє до них. Сюди ж відносяться й вихідні отвори вентиляційних коробів чи шахт, що випромінюють шум у навколишнє середовище.

До загального переліку шумових факторів не включаються ті джерела, які формують у розрахунковій точці рівні звукового тиску (L_i , дБ), на величину ΔL_o , меншу за встановлені гранично допустимі значення ($L_{\text{дон}}$) в кожній октавній смузі. Це означає, що такі джерела виключаються, якщо задовольняється умова:

$$\Delta L_{\text{дон}} - L_i \geq \Delta L_o \quad (4.5)$$

Величина ΔL_o (в дБ) визначається за формулою:

$$\Delta L_o = 10 \lg m_n + 5 \quad (4.6)$$

де m_n – кількість джерел шуму, РЗТ яких на 10 дБ менші за $L_{дон}$.

Загальне (необхідне) зниження рівнів звукового тиску $\Delta L_{н.заг}$ (в дБ) у приміщеннях у разі одночасної роботи усіх джерел шуму визначається за формулою

$$\Delta L_{н.заг} = L_{заг} - L_{дон}, \quad (4.7)$$

де $L_{заг}$ – рівень звукового тиску (у відповідних октавних смугах) від усіх джерел шуму в розрахунковій точці, дБ;

$L_{дон}$ - нормативне значення рівня звукового тиску (у відповідних октавних смугах), в дБ, в розрахунковій точці.

4.2. Зниження емісії шуму в джерелі виникнення

Найбільш дієвим способом зменшення негативного впливу шуму є його зниження шуму в джерелі виникнення.

Зниження надмірного шуму насамперед досягається шляхом використання таких виробничих процесів та апаратури, що не генерують значного акустичного навантаження. Вибір тих чи інших шляхів зниження шуму конкретного виробничого обладнання або машини залежить від природи шуму, особливостей технологічного процесу, конструктивних і технологічних характеристик тощо.

З огляду джерел емісії шуму, що розглядаються в даній роботі, та їхнього впливу на шумове забруднення селітебної території, слід застосовувати засоби і заходи зниження інтенсивності шуму, який виникає в джерелі виникнення, зокрема, зниження шуму передавальних механізмів, обертових механізмів, підшипникових вузлів, повітропроводів, корпусів устаткування тощо.

Для усунення незрівноваженості роторів необхідно проводити балансування ротора, а також його складових частин на спеціальних балансувальних верстатах.

Проблема зниження шуму підшипників передбачає три самостійні завдання: застосування підшипників кочення з покращеними шумовими характеристиками; вібродемпферування і віброізоляція коливань, які передаються на корпус машини; створення найбільш сприятливих умов роботи підшипників машини.

Для зниження шуму краще застосовувати однорядні радіальні кулькові підшипники; підшипники інших типів створюють більш високий рівень шуму і вібрації. Так, рівень вібрації роликів підшипників вищій, ніж кулькових, на 5 дБ і більше. Таку саму величину складає перевищення рівнів вібрації підшипників важкої серії у порівнянні з підшипниками середньої серії.

Достатньо ефективний засіб зниження шуму і вібрації підшипників – застосування спеціальних пружних вкладок з вібродемпферувальних матеріалів, що компенсують геометричну недосконалість посадочних місць і віброізолюють корпус від підшипника. Вкладки можуть бути виготовлені з матеріалів із високим коефіцієнтом затухання (металоволокнистих, гуми, пластмас і т.п.). Встановлення підшипників кочення в такі пружнодемпферні опори суттєво знижує рівні вібрації і шуму в діапазоні середніх і високих частот (до 12-15 дБ).

Радикальним засобом зниження шуму і вібрації підшипників є перехід на підшипники ковзання, які мають рівні шуму на 15-20 дБ нижчі, ніж у експлуатованих підшипників кочення, особливо в діапазоні високих частот.

Зниження шуму вентиляторних установок інколи можна досягти шляхом вибору режиму роботи так, щоб створюваний шум без додаткового шумопоглинання не перевищував допустимого. Це можливо для вентиляторів, що працюють з малим статичним тиском, а інколи, за не надто розгалуженої мережі, навіть за наявності статичного протитиску.

Для зниження шуму вентилятора доцільно збільшити діаметр колеса і знизити колову швидкість зі збереженням потрібної продуктивності. В результаті знижується рівень випромінюваної звукової потужності і додатково

знижується рівень звуку завдяки зниженню відносної частини середньо- і високочастотних складових спектра, досягається значна економія електроенергії. Оптимальні розміри і колова швидкість визначаються техніко-економічним розрахунком з врахуванням вартості глушників шуму, якщо вони потрібні. Ефективним є застосування електродвигунів із змінною частотою обертання.

Знизити інтенсивність найбільш неприємної “лопаткової” частоти радіального вентилятора можна шляхом застосування скошеного язика, збільшенням відстані між язиком і колесом (“вільний спіральний корпус”), виконуючи язик заокругленим (добре обтічним). Можливе також застосування циліндричних корпусів замість спіральних.

В осьових вентиляторах знизити шум можливо, передбачивши плавний вхід на робоче колесо за допомогою вхідного плавного колектора і обтікача втулки, збільшенням відстані між колесом і напрямним апаратом шляхом правильного вибору співвідношення між кількістю лопаток робочого колеса і напрямного апарата, а також застосуванням косо (не радіально) розташованих лопаток напрямного апарата або колеса.

Внутрішнє личкування спірального корпусу радіального вентилятора звукопоглиначем може дати зниження шуму на 6-10 дБ на середніх і високих частотах. Якщо в даному випадку зберегти форму і розміри проточної частини, то не відбудеться помітного погіршення аеродинамічної характеристики вентиляторів.

Деякий позитивний ефект може бути досягнутий за допомогою турбулізаторів, перфорації лопаток і т.п.

4.3. Зниження шуму на шляху поширення шуму

4.3.1. Заходи зниження шуму на шляху поширення.

Зниження шуму на шляху поширення реалізується низкою заходів, що застосовуються як на промислових об'єктах, що є джерелами шумового

випромінювання, так і заходів, призначених для захисту від шуму будівель і споруд [27-28]. Зазначені заходи передбачають використання засобів віброізоляції і вібродемпферування устаткування, застосування звукоізолювальних огорожень, глушників шуму у повітроходах, каналах і газодинамічних трактах, системах вентиляції та стисненого повітря, а також впровадження будівельно-акустичних заходів.

Оскільки під час аналізу джерел шумоутворення на СП «Галка-ЛТД» виявлено недолік монтажу приводу вентилятора, який жорстко з'єднаний з шумознижувальним каркасом і конструкцією будівлі (див. п. 3.3.2), то в роботі запропоновано виконати монтаж вентиляторної установки (як зазначеної, так і інших) на вібромайданчику з пружинними або пневмогумовими амортизаторами (рис. 4.1), що дозволить суттєво знизити передачу вібрації від вентилятора на будівельну конструкцію і тим самим – знизити емісію структурного шуму.

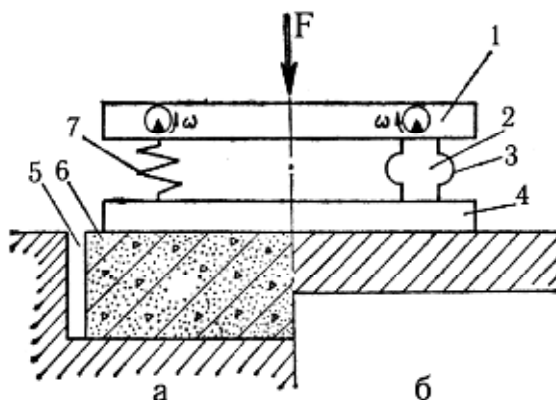


Рис. 4.1. Схема облаштування вібромайданчика з пружинними (а) і пневмогумовими (б) амортизаторами:

1 – рухома платформа вібраційного столу; 2 – повітряна камера пневматичного гумового демпфера; 3 – гумово-кордова оболонка пневматичного гумового демпфера; 4 – нерухома частина (база); 5 – акустичний стик; 6 – віброізолювальна опорна плита (фундамент); 7 – пружинний віброізолятор.

Щодо архітектурно-планувальних аспектів захисту навколишнього середовища від шуму, для зменшення його інтенсивності застосовується низка заходів. До них належить впровадження захисних звукоізоляційних бар'єрів (екранів), а також організація спеціально облаштованих зелених зон, що забезпечують комплексний захисний ефект [29-31].

Роль захисних екранів можуть виконувати як штучні, так і природні елементи ландшафту: заглиблення (виїмки), земляні вали (кавальєри), насипи, пагорби тощо; будівлі, в яких допустимий рівень шуму може перевищувати 50 дБА; житлові будинки з покращеним звукоізоляційним захистом зовнішніх конструкцій, а також ті, де зі сторони джерел шуму розташовані вікна допоміжних приміщень та однієї житлової кімнати у трикімнатних чи більших квартирах; різноманітні інженерні конструкції (підпірні стінки, огорожі та захисні екрани автодоріг із поверхневою масою не менше 30 кг/м² та інші).

Будівлі та споруди, що слугують захисними екранами, доцільно розміщувати вздовж зон підвищеної акустичної активності (зокрема, біля шумних виробництв, автошляхів та залізничних магістралей), переважно у вигляді суцільної забудови. Окрім того, на шляху поширення звукової енергії від джерел емісії доцільно встановлювати акустичні (шумозахисні) екрани – конструкції з оптимізованими характеристиками поглинання та ізоляції шуму.

Захисні зелені насадження у межах населених пунктів можуть використовуватися як самостійний спосіб послаблення шуму на його шляху, а також у комбінації з іншими інженерними рішеннями для зменшення шуму.

Зниження рівня шумового забруднення довкілля завдяки застосуванню захисних насаджень досягається шляхом розсіювання, поглинання та дифрагування енергії звукових хвиль.

Спеціальні смуги зелених насаджень мають комплексний характер захисної дії – забезпечують захист від шуму, відпрацьованих газів автотранспорту, абсорбування пилу та інших компонентів-забрудників. а також сприяють покращенню санітарно-гігієнічних показників міського

середовища, забезпечують позитивний психологічний і естетичний вплив на населення.

Оскільки стан частини території СП «Галка-ЛТД», що примикає до межі житлової забудови, не дозволяє облаштування смуги зелених насаджень, то, в даному випадку, крім заходів зниження шуму в джерелах виникнення, оптимальним рішенням щодо зниження шумового забруднення селітебної території є встановлення звукоізолювального екрану.

4.3.2. Зниження шуму за допомогою акустичних екранів.

З метою зниження виробничого шуму, який поширюється в напрямку житлової забудови – відповідно, зниження шумового забруднення селітебної території, розроблено конструкцію і встановлено акустичний екран, який разом з цегляною стіною огорожі території підприємства утворюють шумозахисний екран (рис. 4.2).

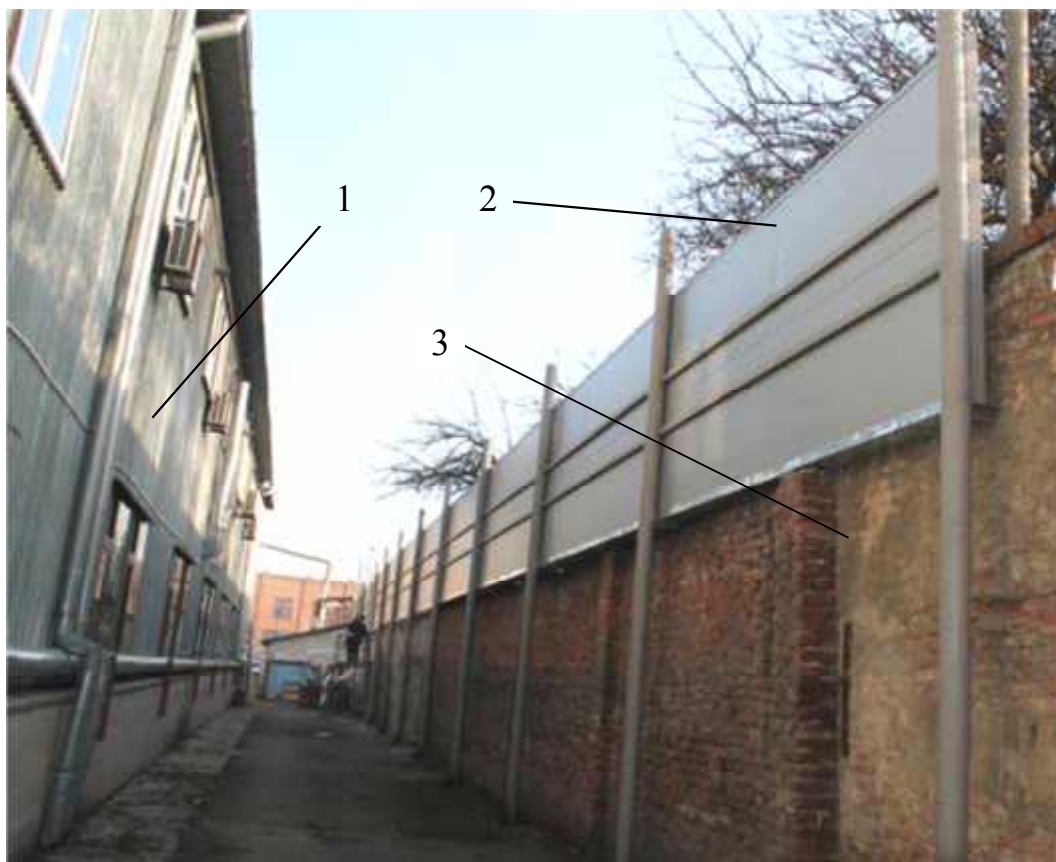


Рис. 4.2. Застосування шумозахисного екрана для зниження акустичного забруднення селітебної території:

1 – стіна виробничого приміщення; 2 – акустичний екран; 3 – цегляна огорожа території підприємства.

Шумозахисний екран скомпонований з цегляною стіною (рис. 4.3, поз. 3), що огорожує територію підприємства. Верхня частина шумозахисного екрану – це спеціально виготовлений акустичний екран (рис. 4.3, поз. 2).

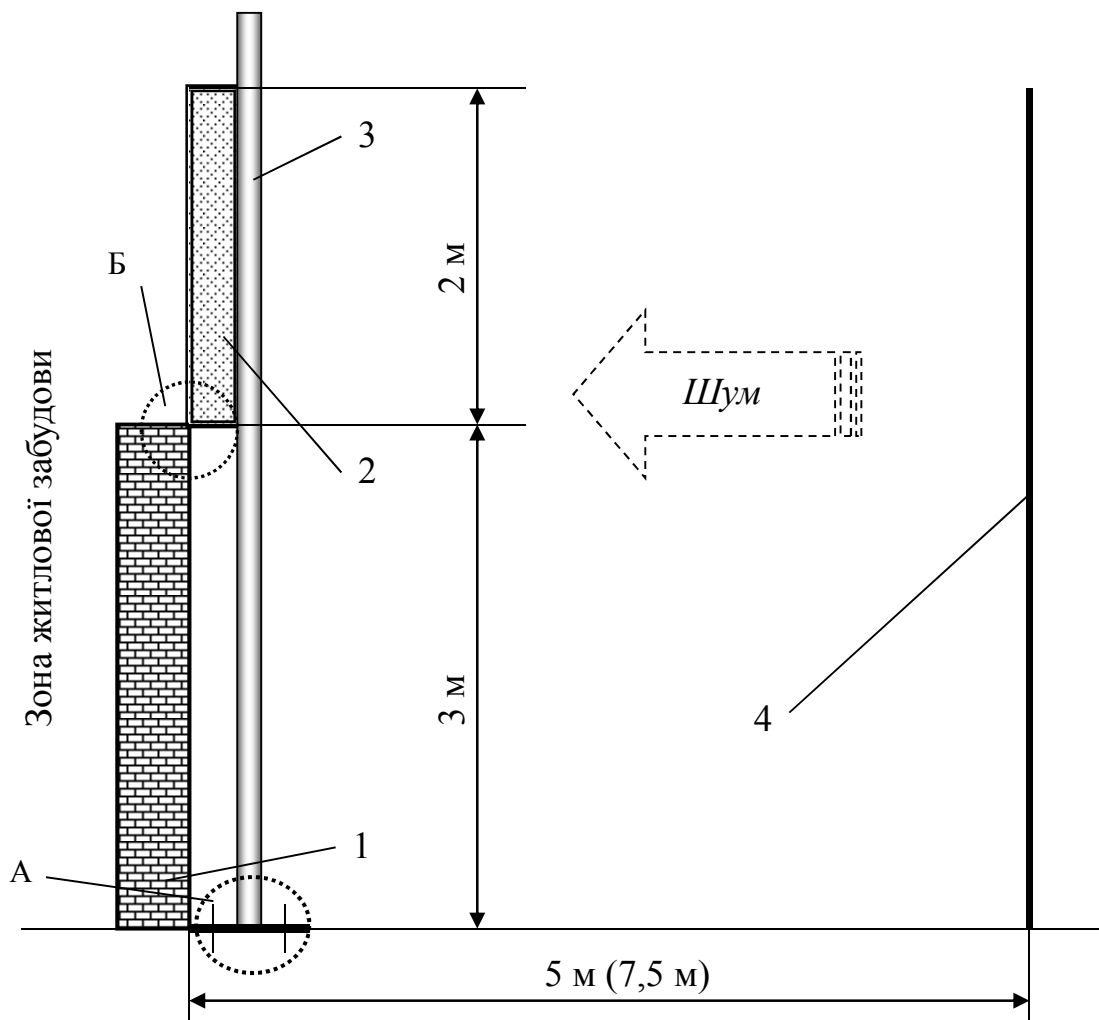


Рис. 4.3. Конструкція та розташування частини шумозахисного екрана:

1 – цегляна огорожа; 2 – акустичний екран; 3 – стійка акустичного екрана; 4 – стіна виробничого приміщення; А – анкерне кріплення стійок; Б – зона прилягання акустичного екрана до цегляної стіни.

Цегляна стіна огорожі має чіткі звукоізолювальні властивості – звукові хвилі, які потрапляють на стіну, в основному відбиваються від неї, а також частково, завдяки явищу дифракції, огинають стіну біля її країв і потрапляють за стіну і поширюються далі.

Огинання перешкоди (в даному випадку цегляної стіни) тим більше, чим більша довжина хвилі в порівнянні з розмірами перешкоди. Якщо довжина хвилі менша розміру перешкоди, то відбувається відбивання звукових хвиль. У цьому випадку за перешкодою створюється так звана звукова тінь.

Звуки низьких частот мають більшу довжину хвилі, легше оминають перешкоди і простіше проникають через огороження і отвори, ніж звуки високих частот. Часто від джерела шуму високої частоти можна ефективно захищатись екраном, тоді як для шумів низької частоти цей спосіб може виявитись неефективним. Дифракція спостерігається при проходженні звукових хвиль повз край перешкоди. Звукові хвилі у випадку взаємодії з перешкодою відхиляються від прямолінійного поширення і заходять в область геометричної тіні.

Дифракція зумовлена тим, що у випадку поширення хвиль і взаємодії їх з перешкодою не може утворитися різкий “край хвилі” з миттєвим спадом її до нуля. У дійсності амплітуда хвилі при зустрічі з краєм перешкоди спадає поступово і зумовлює часткове поширення звукової хвилі за межу перешкоди.

З метою захисту зони житлової забудови від проникнення виробничого шуму, враховуючи вище наведене, вирішено збільшити висоту шумозахисного екрана шляхом «наращення» стіни – встановлення над нею акустичного екрана з щільним приляганням (зона Б на рис. 4.3).

Акустичний екран (рис. 4.4) складається з панелей 2, прикріплених до сталевих поперечних профілів 4, які приварені до вертикальних стійок 3.

Тут застосована акустична панель двостінного типу, яка складається з пластикового коробчастого корпусу, всередині якого розміщений звукопоглинач.

Акустична панель крім звукоізолювальних (частково звуковідбивних) властивостей завдяки наявності звукопоглинача має також і звукопоглинальні – у цьому випадку енергія звукових хвиль, що пройшли через пластикову оболонку, перетворюється на теплову, яка у вигляді тепла розсіюється в довкіллі.



Рис. 4.4. Загальний вигляд шумозахисного екрана:

1 – цегляна огорожа; 2 – панелі акустичного екрана; 3 – стійки акустичного екрана; 4 – поперечний профіль.

Для захисту від негативного впливу навколишніх факторів на звукопоглинальний матеріал акустичні панелі виконані герметичними – крайки панелей закриті кришками.

Вертикальні стійки 3 (рис. 4.4) – сталеві труби, закриті у верхній частині пластиковими кришками (від атмосферних опадів). До нижніх кінців стійок приварені сталеві площадки-підшви. Встановлюються стійки екрана на бетонній основі і кріпляться за допомогою анкерних болтів (рис. 4.3, поз. А).

На сталеві елементи акустичного екрана для підвищення корозійної стійкості нанесене захисне покриття шляхом фарбування.

З метою надійної звукоізоляції під час монтажу акустичного екрана місце його прилягання до цегляної стіни ретельно ущільнювалось (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Монтаж акустичного екрана та герметизація зони прилягання до цегляної стіни.

Загальна довжина шумозахисного екрана складає 56,5 м; загальна висота екрана – 5 м (висота цегляної стіни 3 м та висота акустичної панелі 2 м).

Шумозахисний екран має резерви для підвищення його ефективності, зокрема, це личкування фронтальної сторони цегляної стіни (зі сторони цеху №2 підприємства) звукопоглинальними матеріалами; перфорація фронтальних листів акустичних панелей; нарощення висоти панелей до висоти стійок; зміна форми (конструкції) верхньої граничної поверхні акустичного екрана.

4.3.3. Забезпечення ефективності акустичного екрана.

Розрахунок акустичної ефективності шумозахисного екрана. Під час проектування екранів слід враховувати, що виробничий шум може надходити в будь-яку точку простору за екраном (розрахункову точку) двома основними шляхами: у вигляді звуку, який передається безпосередньо через тіло екрана (прямий звук) – C (рис. 4.6), і у вигляді звуку, що огинає верхній край і бічні крайки екрана (дифрагуючий звук): $A + B$.

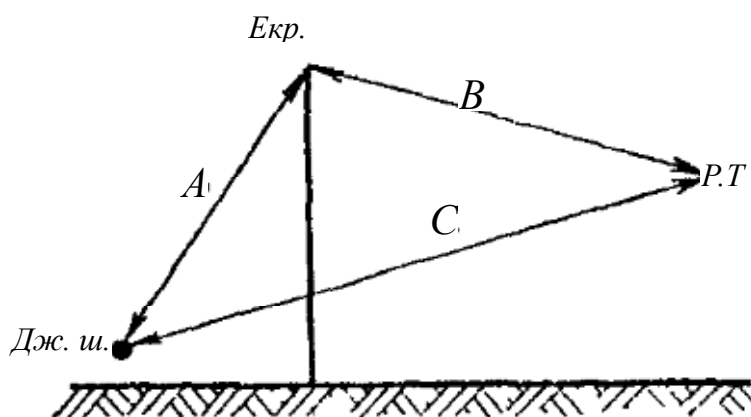


Рис. 4.6. Схема надходження звуку від джерела шуму (Дж. ш.) до розрахункової точки (P.T) за наявності шумозахисного екрана (Екр.).

Для запобігання впливу прямого звуку C , залежно від необхідного зниження шуму екраном, поверхнева щільність екрана (маса 1 м^2 конструкції екрана товщиною h) повинна бути не нижче $18-19,5 \text{ кг/м}^2$.

Під час поширення шуму в розрахункову точку другим шляхом ($A + B$ на рис. 4.6) звукова енергія джерела частково втрачається внаслідок дифракції звуку на верхньому краї і бічних крайках екрана (безпосередній екрануючий ефект), частково зменшується за рахунок розширення фронту звукової хвилі (зниження шуму з відстанню), частково згасає в повітрі (згасання в повітрі). У результаті в розрахунковій точці за екраном спостерігається знижений рівень шуму.

Кількісною мірою шумозахисного ефекту екрана є його акустична ефективність, яка є різницею між рівнями шуму в розрахунковій точці до і після встановлення екрана за інших незмінних умов.

Акустична ефективність екрана визначається лише його геометричними розмірами і місцем розташування. Тому вона залежить від висоти і довжини екрана, від відстані між ним і джерелом шуму, між ним і розрахунковою точкою, а також від висоти розрахункової точки над поверхнею території, але не залежить від шумової характеристики джерела.

У той же час рівень шуму в розрахунковій точці за екраном залежить як від акустичної ефективності екрана, так і від шумової характеристики джерела шуму.

Перед розрахунком акустичної ефективності екрана необхідно вибрати місце його розташування. Відомо, що чим ближче розташований екран до джерела шуму, тим вищою є його ефективність і нижчою може бути необхідна висота.

Під час проектування екрана слід також враховувати, що шумозахисний ефект екрана (акустична ефективність $\Delta L_{A_{екр}} > 0$) проявляється лише в зоні акустичної тіні, розташованої за екраном.

Схема розташування екрана із зазначенням необхідних відстаней наведена на рис. 4.7.

Контрольні точки ($m.4$ і $m.5$) відповідають точкам, розміщеним в місцях, в яких здійснювались вимірювання шуму співробітниками ДУ «ЛЮЛЦ ДСЕС України» (додаток Б).

Оскільки між шумозахисним екраном і стіною виробничого приміщення утворився звуковий канал, по якому шум поширюється як горизонтально, так і по вертикалі (рис. 4.2), а також, враховуючи, що серед основних джерел шуму є циклони, які розташовані вище контрольних точок вимірювання шуму, то для розрахунків прийнято умовне розташування точкових джерел шуму по вертикальній лінії з кроком 1,5 м (на рис. 4.7 б – лінія випромінювання шуму).

Межа зони акустичної тіні (на вертикальному розрізі ділянки селітебної території) – пряма лінія, що сполучає акустичний центр джерела шуму (рис. 4.7 б: точки 1 - 5, розташовані на лінії випромінювання шуму) з вершиною екрана і продовжену далі, в область простору за екраном.

Простір за акустичним екраном (під прямою 2 (екраном) на рис. 4.7 а) є зоною акустичної тіні. В область простору над прямою (екраном) виробничий шум проникає безперешкодно і шумозахисний ефект екрана тут відсутній.

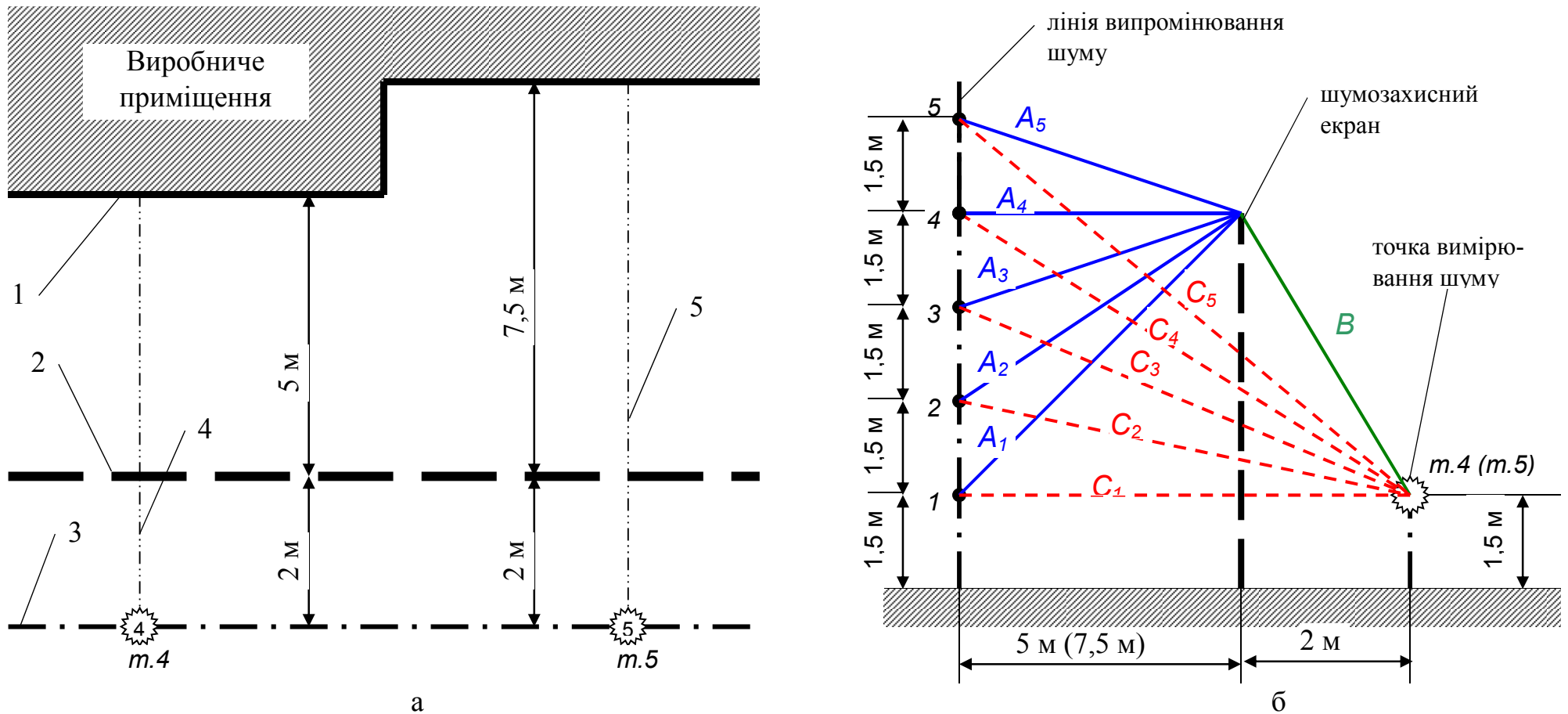


Рис. 4.7. Розрахункова схема оцінювання ефективності шумозахисного екрана:

а – вигляд зверху: 1 – лінія випромінювання шуму (огороджувальна конструкція виробничої будівлі з основними джерелами шуму); 2 – шумозахисний екран; 3 – лінія розташування контрольних точок (точок вимірювання шуму); $m.4$, $m.5$ – точки вимірювання шуму; 4 і 5 – осі контрольних вимірювань рівнів шуму.

б – вигляд збоку.

Очікуване зниження шуму екраном $\Delta L_{\text{Аекр}}$, в дБА, визначається з урахуванням різниці довжин шляхів звукових променів δ та виду джерела шуму (методика розрахунку наведена в ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 «Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій» [32]).

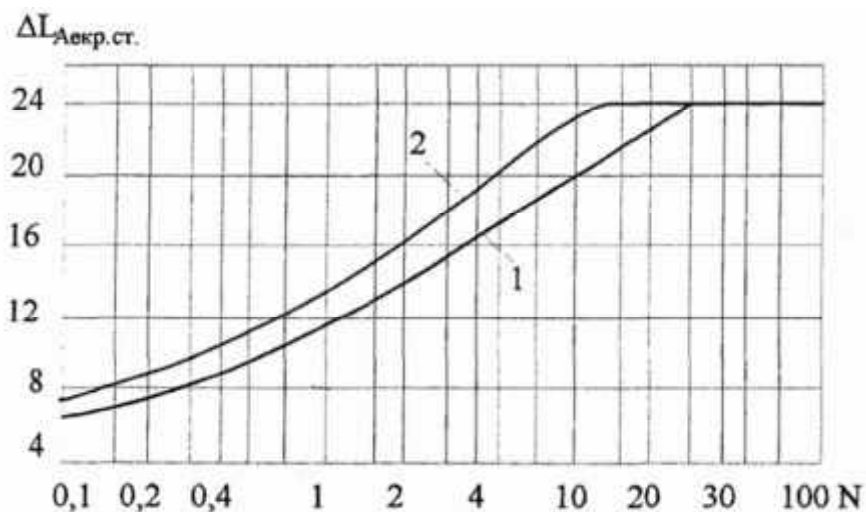


Рис. 4.8. Графік для визначення величини зниження рівня звуку ($\Delta L_{\text{Аекр}}$) екраном-стілкою [32]: 1 – транспортні потоки; 2 – окремі джерела шуму.

Зниження рівня звуку у випадку застосування екрану-стілки (рис. 4.8) визначається з урахуванням виду джерела шуму та числа Френеля N :

$$N = \frac{2\delta}{\lambda}, \quad (4.8)$$

де λ – довжина (розрахункова) звукової хвилі, м.

Різниця довжин шляхів звукових променів δ визначається за виразом:

$$\delta = A + B - C, \text{ м}, \quad (4.9)$$

де A , B , C – відстані (найкоротші) відповідно: між акустичним центром (джерела шуму) і верхньою крайкою екрану; між розрахунковою точкою і верхньою крайкою екрану; між акустичним центром і розрахунковою точкою (рис. 4.7), м.

Результати визначення ефективності шумозахисного екрана зведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Розрахункова ефективність шумозахисного екрана

Акустичне джерело шуму	Допоміжні відстані, м			Різниця довжин шляхів звукових променів δ , м	Очікуване зниження шуму екраном $\Delta L_{\text{екр}}$, дБА
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
При віддалі від лінії випромінювання шуму до екрана 5 м (вісь 4 рис. 4.7)					
1	6,73	4,92	2,00	4,65	23,9
2	5,83	4,92	7,16	3,60	23,5
3	5,22	4,92	7,62	2,53	23,0
4	5,00	4,92	8,32	1,60	22,1
5	5,22	4,92	9,22	0,93	20,9
При віддалі від лінії випромінювання шуму до екрана 7,5 м (вісь 5 рис. 4.7)					
1	8,75	4,92	9,50	4,17	23,8
2	8,08	4,92	9,62	3,38	23,3
3	7,65	4,92	9,96	2,61	22,9
4	7,50	4,92	10,51	1,91	22,5
5	7,65	4,92	11,24	1,34	21,7

Отже, за результатами розрахунків шумозахисний екран, що розглядається в даній роботі, у разі дотримання вище зазначених проектних рішень та основних вимог, дасть можливість знизити рівень звуку, генерований джерелами виробничого шуму СП «Галка-ЛТД», в контрольних точках на території зони житлової забудови на 20,9 – 23,9 дБА.

Розрахунок очікуваних значень рівнів звуку на території житлової забудови. Взявши за основу результати контрольних вимірювань рівнів звуку з частотною корекцією за шкалою «А» шумоміра на території підприємства з урахуванням акустичної ефективності звукоізолювального екрана отримаємо очікувані значення рівнів звуку на території житлової забудови:

- виміряні рівні звуку на території підприємства на висоті 1,5 м відповідно в точках *m.1* та *m.3* (рис. 3.7): $L_{pA}^{m.1} = 62$ дБА та $L_{pA}^{m.3} = 60$ дБА;

- очікуване зниження шуму екраном (табл. 4.1) на висоті 1,5 м по осі контрольних вимірювань рівнів шуму 5 (рис. 4.7): $L_{pAекр} = 23,8$ дБА;

- очікуване значення рівнів звуку на території житлової забудови від джерел шуму (відповідно точок $m.1$ та $m.3$ селітебної території):

$$L_{pAочік}^1 = L_{pA}^{m.1} - L_{pAекр}; \quad (4.10)$$

$$L_{pAочік}^3 = L_{pA}^{m.3} - L_{pAекр}. \quad (4.11)$$

Підставивши відповідні значення в формули (4.10) та (4.11) отримаємо:

$$L_{pAочік}^1 = 62 - 23,8 = 38,2 \text{ дБА};$$

$$L_{pAочік}^3 = 60 - 23,8 = 36,2 \text{ дБА}.$$

Порівнюючи отримані очікувані значення рівнів звуку на території житлової забудови, спричинені джерелами виробничого шуму підприємства, з нормативним значенням (45 дБА [8]), бачимо, що очікуваний рівень шуму буде знаходитись в допустимих межах, відповідно – шумозахисний екран забезпечує необхідне зниження рівня шуму.

Заходи щодо забезпечення акустичної ефективності екрана. Під час проектування акустичного екрану враховані основні вимоги щодо забезпечення його акустичної ефективності.

1. Необхідна акустична ефективність екрана забезпечена завдяки належному вибору його основних геометричних параметрів, конструктивного вирішення його верхньої частини, застосування в панелях звукопоглинальних матеріалів, а також за рахунок раціонального розташування акустичного екрана щодо джерел випромінювання шуму і щодо об'єктів захисту.

2. Висота акустичного екрана вибрана залежно від необхідної акустичної ефективності екрана з урахуванням висоти об'єктів захисту та їх розташування щодо джерел випромінювання шуму.

3. Довжина акустичного екрана $l_{екр}$ визначена з умови забезпечення відстані від проекції крайньої точки об'єкта захисту на акустичному екрані до

відповідного кінця акустичного екрану не менше, ніж в 4,5 рази більше за найкоротшу відстані від об'єкта захисту до акустичного екрану (рис. 4.9).

Примітка: Відстань від крайнього об'єкта, що підлягає захисту, до відповідного кінця акустичного екрану вибрана з умови можливості нехтування дифракцією на кінці акустичного екрану.

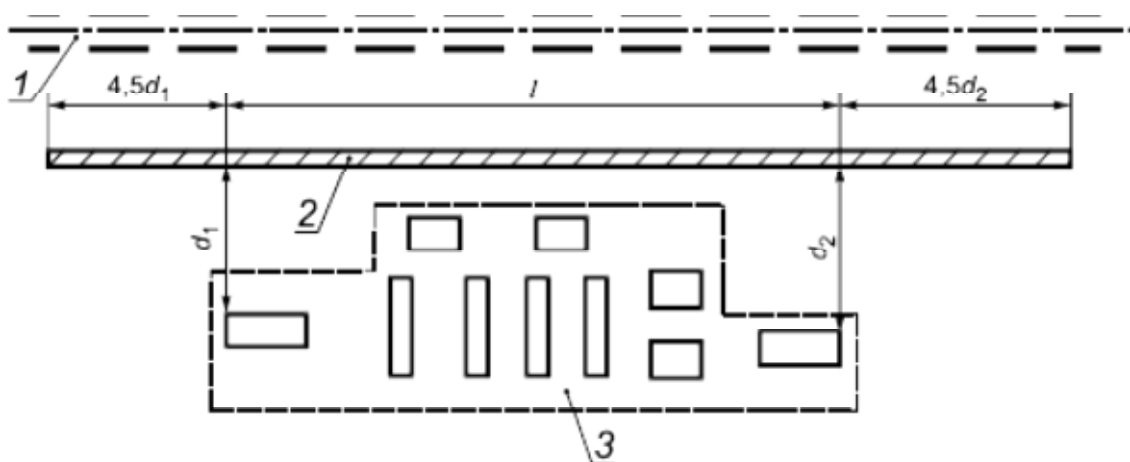


Рис. 4.9. Схема визначення необхідної довжини акустичного екрану:

1 – умовна лінія випромінювання шуму; 2 – акустичний екран; 3 – об'єкти захисту.

Загальна довжина акустичного екрану $l_{\text{екр}}$ може бути розрахована за формулою:

$$l_{\text{екр}} = 4,5d_1 + l + 4,5d_2 \quad (4.11)$$

де: d_1, d_2 – віддаль від крайніх об'єктів захисту до акустичного екрану, м (рис. 4.9);

l – загальна довжина зони, де розташовані об'єкти захисту, м.

4. Поверхнева щільність панелей акустичного екрану вибрана з умови забезпечення звукоізоляції панелі не нижче, ніж на 10 дБ вище від необхідної акустичної ефективності екрану.

Примітка: Вимога 10 дБ забезпечує запобігання проходженню прямого звуку, що проникає до об'єкта захисту .

5. Значення коефіцієнта звукопоглинання акустичних панелей відбивально-поглинальних екранів (як у випадку з нашим шумозахисним екраном) не нижче допустимих величин, наведених у табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Контрольні значення коефіцієнта звукопоглинання панелей

Найменування показника	Позначення октавних смуг (середньогометричні значення частот), Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коефіцієнти звукопоглинання	0,3	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5

6. В конструкції акустичного екрана виключені щілини між його складовими елементами, а також між нижньою панеллю акустичного екрану і поверхнею землі.

Висновки до розділу

Захист навколишнього середовища від шумового забруднення здійснюється, перш за все, шляхом зниження емісії шуму – реалізацією заходів щодо мінімізації генерування шуму в джерелі виникнення, а також, у разі необхідних додаткових заходів, шляхом зниження шуму на шляху поширення, коли інші заходи є неможливим або недоцільним.

Оцінювання доцільності розроблення і впровадження шумознижувальних заходів здійснюється шляхом порівняння фактичних рівнів звуку з допустимими значеннями.

З метою узгодженого підходу і об'єктивності оцінювання очікуваних результатів використовуються стандартизовані методики визначення необхідного зниження рівнів шуму на селітебній території та необхідної звукоізоляції зовнішніх огорожувальних конструкцій, а також очікуваних рівнів звуку і звукового тиску в результаті застосованих заходів.

Для зниження емісії шуму, а також зниження його рівня на шляху поширення застосовуються акустичні засоби захисту, які, залежно від принципу дії, поділяються на засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізоляції, демпферування і глушники шуму.

Для запобігання шумового забруднення довкілля слід використовувати заходи і засоби зниження емісії шуму та мінімізації їхнього впливу на шумове забруднення території житлової забудови.

Для зниження рівня емітованого шуму слід застосовувати заходи щодо забезпечення співвісності валів, балансування роторів, зниження шуму підшипників та підшипникових вузлів, вентиляторних установок, застосування засобів шумо- і вібропоглинання та ізоляції корпусів устаткування.

Для зниження передавання шуму застосовуються засоби віброізоляції і вібродемпферування устаткування, звукоізоляції огорожувальних конструкцій, глушіння шуму у повітроходах, каналах і газодинамічних трактах, системах вентиляції та стисненого повітря, а також впровадження будівельно-акустичних заходів – застосування захисних звукоізолювальних екранів та спеціально облаштованих смуг зелених насаджень.

Як захисні екрани можуть використовуватись штучні і природні елементи рельєфу місцевості, будівлі і споруди, де допускаються підвищені рівні звуку, або які мають посилену звукоізоляцію зі сторони джерел шумовипромінювання тощо.

Для об'єкта, що розглядається в роботі, крім заходів зниження емісії шуму найбільш ефективними є заходи щодо зниження передавання шуму, зокрема – застосування акустичного екрану.

Запропоновані в роботі розмірно-конструктивні рішення акустичного екрану підтвержені розрахунками очікуваного зниження рівня шуму на території житлової забудови, що свідчить про їхню ефективність у разі дотримання рекомендованих заходів.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Робота має дослідницький характер і, в основному, виконувалась в приміщенні офісного типу з використанням комп'ютерної техніки (згідно термінології, наведеної в НПАОП 0.00-7.15-18 [33] – це робота з екранними пристроями (далі – ЕП)).

В даному розділі розглядається аналіз умов праці в робочому приміщенні, де виконувалось опрацювання результатів досліджень і розроблення проектних рішень, їх відповідність вимогам безпеки праці, гігієни і виробничої санітарії, а також забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях з урахуванням актуальних вимог та рекомендацій [34].

5.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Організація робочого простору. Службове приміщення розташоване у 4-поверховій цегляній споруді, на третьому поверсі. Об'єм приміщення, де проводилися роботи, складає 236,8 кубічних метрів. Опалення забезпечується централізованою водяною системою. Вентиляція відбувається природним шляхом через організовану аерацію, яка реалізується відчиненням кватирок та фрамуг вікон.

Поверхня підлоги є рівною, нековзкою, що сприяє легкому сухому та вологому прибиранню. Матеріал покриття підлоги – паркет.

Робоча зона не має суміжних приміщень, де спостерігалися б підвищені рівні шуму або вібрації.

В офісі облаштовано сім робочих місць, оснащених комп'ютерною технікою.

Мінімальна площа, виділена на одне робоче місце з ЕП, має становити 6 квадратних метрів; тут вона дорівнює $10,6 \text{ м}^2$, що відповідає встановленим нормам [33]. За об'ємом, на кожне комп'ютеризоване місце припадає $33,8 \text{ м}^3$ (норматив [33] вимагає не менше 20 м^3).

Проміжок між бічними гранями моніторів задовольняє вимогам, оскільки має бути щонайменше 1,2 метра.

Конструкція робочого столу повинна відповідати сучасним ергономічним стандартам та забезпечувати оптимальне розташування усього необхідного обладнання та пристроїв на робочій поверхні, беручи до уваги їх габарити та особливості дизайну.

Висота робочої площини столу для роботи з ЕП складає 740 мм (рекомендований діапазон – 680-800 мм). Ширина та глибина, необхідні для забезпечення роботи у зоні моторного охоплення, такі: ширина – 550 мм (норма – 600-400 мм), глибина – 800 мм (норма – 800-1000 мм).

Робочий стіл мусить надавати достатній простір для ніг: висота не менше 600 мм, ширина не менше 500 мм, глибина на рівні колін — від 450 мм, а на рівні витягнутої ноги — від 650 мм. Фактичні розміри столу відповідають цим критеріям.

Крісло користувача ЕП має бути оснащене сидінням, спинкою та фіксованими чи знімними підлокітниками. У кріслах, що використовуються у цьому приміщенні, підлокітники відсутні.

Регулювання ширини та глибини сидіння має здійснюватися у межах 400-500 мм. Хоча у нашому випадку регулювання не передбачено, зазначені параметри сидіння перебувають у прийнятних межах.

Поточне розміщення комп'ютерного екрана забезпечує комфортний огляд у вертикальній площині (кут нахилу екрана відносно вертикалі становить 20 градусів). Однак дистанція від очей користувача до екрана складає приблизно 400 мм, тоді як норматив вимагає 600-700 мм. Ця проблема, швидше, організаційна, оскільки технічно є можливість збільшити

відстань. Варто звертати увагу користувачів на це під час проведення інструктажів на робочому місці.

Клавіатура розташована на відстані близько 550 мм від очей (оптимально – 600 мм), проте місце для долонь користувача є недостатнім (рекомендовано – 100 мм).

Окрім застосування сертифікованого комп'ютерного обладнання, дозволеного для використання населенням, ключовим заходом забезпечення безпеки при роботі з ЕП є дотримання раціональних графіків праці та відпочинку.

Щодо режиму роботи з ЕП, рекомендовано дотримуватися такого:

- чітко виконувати встановлений режим праці та відпочинку, який враховує ступінь функціонального напруження, динаміку роботи організму та працездатність, і обов'язково включає регламентовані перерви;

- зважаючи на специфіку роботи персоналу з ЕП, до режиму роботи мають бути додані перерви тривалістю 5-10 хвилин після кожної робочої години та 15 хвилин після кожних двох годин роботи;

- кількість оброблених символів не повинна перевищувати 30 тисяч за чотири години роботи;

- при роботі з текстовою інформацією (введення, редагування чи читання з екрана) найбільш фізіологічним вважається відображення чорних символів на світлому тлі.

Технічні рішення з електробезпеки. Електромережа та електроустаткування робочого приміщення експлуатуються відповідно до вимог відповідних нормативно-правових актів [35 - 39].

ЕП та електроустановки, електричні провідники та кабелі в робочому приміщенні за виконанням і ступенем захисту відповідають класу зони П-П за НПАОП 40.1-1.01-97 [36], забезпечені апаратурою захисту (від струму короткого замикання, інших аварійних режимів).

Виділену електромережу для живлення ЕП створюють як окрему групову трижильну систему, прокладаючи фазний, робочий нульовий та

захисний нульовий провідники. Захисний нульовий провідник слугує для забезпечення занулення підключених електроприймачів.

Робочий нульовий провідник заборонено використовувати як захисний нульовий провідник.

Також заборонено з'єднувати робочий нульовий та захисний нульовий провідники на одному контактному затискачі розподільного щита.

З огляду на те, що в даному приміщенні одночасно працює понад п'ять ЕП, змонтовано аварійний вимикач у легкодоступному та помітному місці, який здатний повністю знеструмити приміщення, окрім системи освітлення.

Підключення ЕП до електромережі дозволено виключно через справні заводські штепсельні пристрої та розетки.

У штепсельних пристроях та розетках, окрім контактів для фазного та робочого нульового провідників, повинні бути передбачені спеціалізовані контакти для під'єднання захисного нульового провідника. Конструктивне виконання цих елементів має гарантувати, що приєднання захисного нульового провідника відбудеться першим серед усіх, випереджаючи приєднання фазного та робочого нульового провідників. Процедура роз'єднання в момент вимкнення має бути виконана у зворотному порядку.

Забороняється підключати електроприймачі до типової двопровідної електричної мережі, зокрема, використовуючи будь-які перехідні адаптери чи пристрої.

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Мікроклімат та склад повітря робочої зони. На самопочуття робітника та його працездатність у приміщеннях значний вплив має мікроклімат. Під цим терміном мають на увазі метеорологічні умови внутрішнього простору, що формуються завдяки сукупності чинників, які впливають на людину. Так, гідно з ДСН 3.3.6.042-99 [40], нормованими

характеристиками мікроклімату є параметри повітря: температура (t° , C), відносна вологість (W , %), швидкість переміщення (V , м/с), а також потужність теплових випромінювань ($Вт/м^2$).

У табл. 5.1 наведено як фактично зафіксовані показники мікроклімату у робочій зоні, так і встановлені відповідними нормами [40] граничні значення для конкретних умов (клас робіт та пора року, що аналізуються).

Таблиця 5.1.

Характеристика параметрів мікроклімату в робочому приміщенні

Період року	Категорія робіт	Фактичні			Допустимі		
		t° , C	W , %	V , м/с	t° , C	W , %	V , м/с
Теплий	Легка-1а	22...25	50	0,1	23...25	40...60	0,1
	Легка-1б	22...25	50	0,1	22...24	40...60	0,2
Холодний	Легка-1а	19...22	70	0,1	22...24	40...60	0,1
	Легка-1б	19...22	70	0,1	21...23	40...60	0,1

Показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітряних мас у приміщенні, що розглядається, переважно перебувають у межах, що не виходять за загальноприйняті норми. Підтримання цих умов досягається завдяки природній вентиляції (аерації) у теплу пору року, а також використанням централізованого опалення у міжсезоння та взимку.

У робочому просторі відсутні значні джерела забруднення повітря, здатні суттєво вплинути на самопочуття працівників. Для гарантування належного рівня чистоти повітряного середовища у приміщенні задіяна аерація.

Концентрація домішок у повітрі робочої зони не перевищує встановлених гранично допустимих норм, а саме: рівень озону – до $0,1 \text{ мг/м}^3$, оксидів азоту – до 5 мг/м^3 , а пилу – до 4 мг/м^3 .

Освітлення робочого місця. Схема освітлення приміщення є комбінованою – вона об'єднує природне світло та штучне освітлення.

У даному приміщенні природне світло надходить збоку, маючи лише одностороннє розміщення віконних прорізів. Вікна – це подвійні засклені

дерев'яні конструкції роздільного типу, кожна з двома стулками. Всього наявні 4 вікна: 2 шт. – розміром 1,0×2,0 м та ще 2 шт. – розміром 0,5×2,0 м.

Аби підтримувати відносно сталий рівень природного освітлення, незалежно від погодних умов чи пори року, слід оснастити вікна або регульованими сонцезахисними жалюзі, або світлорозсіювальними шторами, коефіцієнт відбиття яких лежить у межах 0,5–0,7. Норма (відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [41]) для коефіцієнта природної освітленості становить 1,5%.

Перевірку ефективності природного освітлення проводили за стандартною методологією [42] із використанням програмного комплексу Microsoft Office – Excel. Результати розрахунку свідчать: для досягнення задовільного рівня природного освітлення потрібно 6 вікон зазначеної конструкції. Таким чином, наявна площа застакнення (що дорівнює 6 м²) є майже удвічі меншою, ніж та, що необхідна (11,72 м²). Потрібно збільшити фактичний коефіцієнт природної освітленості або заміною існуючих вікон на більші, або ж застосуванням комбінованого освітлення.

У робочій зоні штучне освітлення представлене загальною системою з рівномірно розташованими світильниками; як джерела світла задіяні лампи розжарювання. Їхня кількість складає 3 шт., причому у кожному світильнику стоїть по три лампи. З позиції виробничої санітарії цю систему не можна вважати раціональною, оскільки вона не відповідає встановленим нормам.

Оскільки в приміщенні виконуються зорові роботи середньої складності (відповідно до розряду робіт – IV, підрозділу – г), освітленість на робочій поверхні столу в зоні роботи з документами має становити 300–500 люкс (згідно з ДБН В.2.5-28:2018). У випадках, коли загальна система освітлення не здатна забезпечити ці показники, дозволяється використання локального освітлення. При цьому варто розміщувати локальні світильники так, щоб уникнути утворення відблисків на екрані, а освітленість самого екрана не повинна перевищувати 300 люкс.

Загальне освітлення має бути реалізоване у вигляді безперервних або розділених ліній світильників, які монтуються зі сторони робочих місць (бажано з лівої сторони), пролягаючи паралельно лінії погляду працівників.

Дозволяється застосування світильників з такими типами світлорозподілу: прямим – П; переважно прямим – Н; переважно відбитим – В.

Яскравість світильників (в системі загального освітлення) у діапазоні кутів випромінювання від 50 до 90 градусів від вертикалі (у поздовжньому та поперечному напрямках) не повинна перевищувати 200 кд/м^2 , а захисний кут світильників має становити мінімум 40° .

Світильники для місцевого освітлення зобов'язані мати світлопроникний відбивач із захисним кутом не менше 40 градусів.

Слід вжити заходів для обмеження блискоті, як від природного, так і від штучного світла. При цьому яскравість світлих областей (вікон, джерел штучного світла), які потрапляють у поле зору на екрані ЕП, не повинна перевищувати 200 кд/м^2 .

Необхідно вживати заходів для обмеження відбитої блискоті на робочих поверхнях, що походить від джерел природного та штучного освітлення. Зокрема, яскравість відблисків на екранах ЕП не має перевищувати 40 кд/м^2 , а якщо використовується система відбитого освітлення, то яскравість стелі не повинна бути вищою за 200 кд/м^2 .

При плануванні штучного освітлення важливо забезпечити як сприятливі санітарно-гігієнічні умови для ефективної праці, так і зважити на економічні аспекти. На основі цього здійснимо розрахунок параметрів штучного освітлення для нашого приміщення.

Габарити приміщення: довжина $a=14,8$ м, ширина $b=5$ м, висота $H=3,2$ м.. Схема для розрахунків представлена на рис. 5.1. Приміщення має світле оздоблення: коефіцієнт відбиття від стелі $r_{\text{стелі}}=70\%$, $r_{\text{стіні}}=50\%$.

Мінімальне значення освітленості у приміщення, в якому виконуються роботи зорового розряду III становить $E=300$ лк.

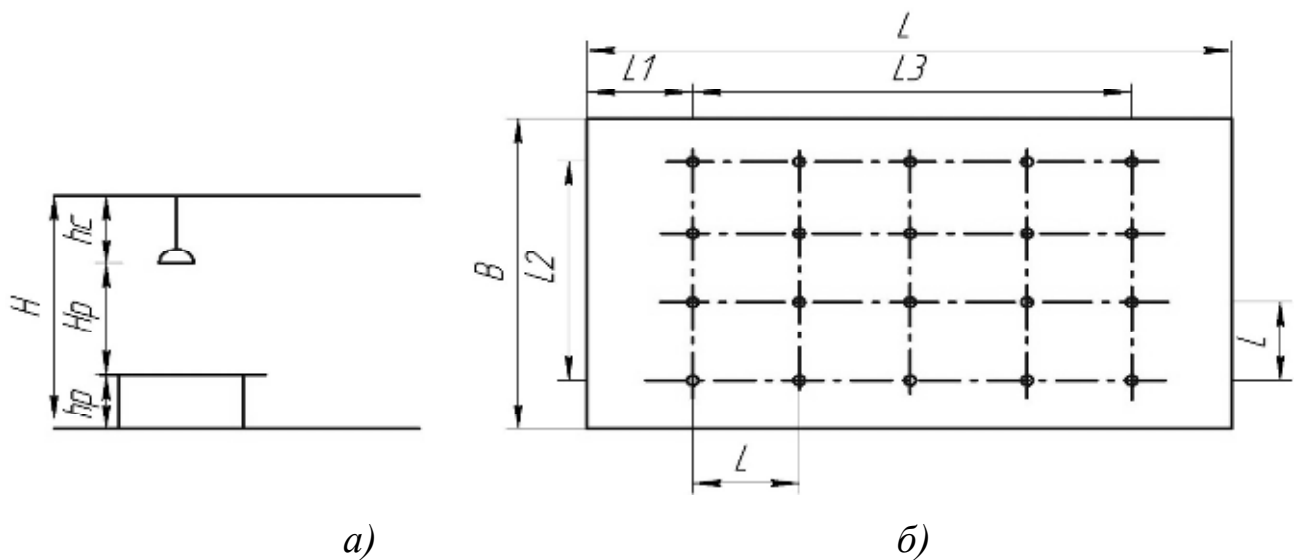


Рис. 5.1. Схема організації штучного освітлення робочого приміщення:
a – вертикальний розріз приміщення; *б* – розташування світильників в плані; l – довжина приміщення, м; b – ширина приміщення, м; H – висота приміщення, м; L_1 – відстань від стіни до крайнього ряду світильників, м; L_2 – відстань між крайніми рядами світильників по ширині, м; L_3 – відстань між крайніми рядами світильників по довжині, м; L – відстань між світильниками, м; H_p – висота підвішування світильника над умовною робочою поверхнею, м.

Для забезпечення штучного освітлення вибираємо світильники типу ЛПО-01 (по дві лампи типу ЛБ-40). Висота підвіски світильників над підлогою фактично відповідає висоті приміщення 3,2 м (згідно ДБН В.2.5-28:2018 дана висота має бути 2,6-4 м для світильників у яких менше 4-х ламп).

Висота розташування світильника над умовною робочою поверхнею:

$$H - H_p = 3,2 - 0,7 = 2,5 \text{ м.}$$

В такому разі φ (показник приміщення) буде:

$$\varphi = \frac{L \cdot b}{H_p (L + b)}, \quad (5.1)$$

$$\varphi = \frac{14,8 \cdot 5}{2,5(14,8 + 5)} = 1,5.$$

При $\varphi = 1,5$ – коефіцієнти відбиття $r_{\text{стелі}} = 70\%$, $r_{\text{стін}} = 50\%$, а коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,55$.

Кількість світильників, необхідна для забезпечення освітленості (згідно норми) робочих поверхонь буде:

$$n = \frac{E_n \cdot S_n \cdot \kappa_3 \cdot z}{2F_m \cdot \eta} \quad (5.2)$$

де F_m – світловий потік встановленої лампи, $F_m = 300$ лм;

S_n – площа підлоги, м²;

z – коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення, $z = 1,1$;

κ_3 – коефіцієнт запасу, $\kappa_3 = 1,4$.

$$n = \frac{300 \cdot 74 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{2 \cdot 3200 \cdot 0,55} = 9,71$$

Приймаємо десять світильників, які для забезпечення рівномірності освітлення монтуються у два ряди по п'ять одиниць у кожному. Оскільки габарити світильника дещо перевищують довжину встановленої в ньому люмінесцентної лампи, загальна довжина світильників, розміщених в одному ряду, складе 6 м.

Це значення менше за довжину виробничого приміщення, отже, між світильниками залишатимуться проміжки.

Порівнюючи потужність запроєктованих світильників із тими, що експлуатувалися раніше (три світильники з трьома лампами розжарювання по 100 Вт кожна, сумарно – 900 Вт), а також беручи до уваги, що останні не відповідають сучасним нормам, ми бачимо очевидну перевагу нового рішення.

Виробничі випромінювання. Під час експлуатації, залежно від типу ЕП, можуть спостерігатися такі види випромінювань, як рентгенівське,

оптичне та електромагнітне. Кожен тип випромінювання має свої унікальні характеристики впливу на людський організм.

Джерелом рентгенівського випромінювання слугує екран ЕП. Згідно з чинними Нормами радіаційної безпеки України [43], граничнодопустима потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані від екрана відеотерміналу, незалежно від налаштувань регулювальних механізмів, не повинна перевищувати $7,74 \cdot 10^{-12}$ А/кг, що еквівалентно дозі 0,1 мбер/год (100 мкР/год.).

У разі застосування моніторів з електронно-променевими трубками, що є морально і фізично застарілим, оптичні випромінювання виникають унаслідок взаємодії електронів із люмінофорним шаром, нанесеним на екран ЕП. Спектр оптичного випромінювання охоплює ультрафіолетову, видиму та інфрачервону ділянки.

Виходячи з того, що використовується апаратура комп'ютерна, яка має відповідні сертифікати, можна зробити висновок, що рівень інтенсивності випромінювання в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній частинах оптичного спектру не перевищує встановлених норм.

Електромагнітні випромінювання охоплюють широкий діапазон хвиль з різною частотою.

З метою запобігання негативному впливу електромагнітного випромінювання від ЕП, слід:

- розміщувати відеотермінал на робочому місці відповідно до актуальних вимог щодо радіаційного захисту;
- уникати надмірної кількості робочих місць з ЕП у приміщенні;
- не скупчувати велику кількість ЕП на одному робочому місці;
- вимикати ЕП, коли він не використовується, але при цьому людина перебуває поблизу нього.

5.3. Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях

Для того, аби запобігти загорянням та забезпечити швидку реакцію у випадку їх появи, запроваджується низка методів та технічних рішень, спрямованих на підтримання належного рівня протипожежного захисту.

Технічні рішення системи запобігання пожежі. Робоче приміщення знаходиться в будівлі, яка відповідає другому ступеню пожежної стійкості. Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [44]) приміщенню присвоєно категорію В за вибухопожежонебезпеку. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 [45] приміщення відповідає класу П-Іа (пожежонебезпечні приміщення і зони).

Головна мета системи протипожежного захисту полягає в унеможливленні виникнення (або внесення) джерела займання за наявності горючого середовища. Це досягається шляхом застосування обладнання та пристроїв, які унеможливають генерацію джерел займання під час експлуатації; використання електроустаткування, що відповідає встановленим класам пожежної та вибухонебезпеки приміщень та зон, а також групі та категорії вибухонебезпечної суміші; налагодження автоматизованого моніторингу параметрів, що можуть спричинити займання, а також облаштування блискавкозахисту.

Для дотримання норм забезпечення пожежної безпеки необхідно проводити очищення агрегатів і вузлів, каналів для кабелів та простору між перекриттями від пилу не рідше одного разу на три місяці.

На будівлі, де знаходиться наше робоче місце, встановлено стрижневий блискавкозахист. Його компоненти включають опори, приймачі блискавки, струмопровідні елементи та заземлювачі. З'єднання між приймачами блискавки та струмопровідними елементами, а також між останніми та заземлювачами, виконано методом зварювання. Блискавкоприймачі та струмопроводи надійно ізольовані від контакту з будівельними конструкціями.

Слід оснастити даний об'єкт автоматичною пожежною сигналізацією (АПС), яка має складатись з таких ланок: сповіщувачів, призначених для

передачі сигналу про виявлення пожежі; приймальної станції з апаратурою для реєстрації та фіксації сигналів про займання; та лінійної мережі, яка зв'язує сповіщувачі з приймальними апаратами.

Центральний пульт системи сигналізації розміщено у черговому приміщенні на контрольно-пропускному пункті.

З огляду на наявність електронного обладнання у приміщенні, доцільно обладнати його системою АПС із застосуванням димових пожежних сповіщувачів, які активуються у присутності диму. Рекомендовано використовувати або суто димові сповіщувачі, або комбіновані (з швидкодіючими іонізаційними сповіщувачами).

Технічні рішення системи протипожежного захисту. Постачання води для потреб пожежогасіння забезпечується з централізованої системи водогону. Поблизу робочої зони (в межах, що не перевищують 20 м) улаштовано пожежний кран.

Відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 [46] проектом закладено забезпечити наявність у робочому приміщенні 3 шт. порошкових вогнегасники (типу ВВК-1,4), які придатні для гасіння електроустановок (з робочою напругою до 1000 В).

Організаційно-технічні рішення забезпечення техногенної безпеки та цивільного захисту. Дотримання безпеки у сфері техногенних загроз складає невід'ємну частину господарської та будь-якої іншої діяльності суб'єктів підприємництва.

Відповідальність за підтримання необхідного рівня техногенної безпеки лягає на призначених посадових осіб, керівний склад підприємств та уповноважених осіб за винятком випадків, коли положення іншого характеру закріплені у відповідних нормативних документах.

Процедури, спрямовані на гарантування захищеності людей, територій та майна від потенційно руйнівних наслідків аварій техногенного походження, мають бути реалізовані або як окремі розділи, або такі, що інтегровані до блоків документації, присвяченої інженерно-технічним

заходам цивільного захисту та техногенної безпеки. Це стосується проєктів планування міст та забудови, а також розробок (зокрема робочих проєктів) для об'єктів із підвищеним або потенційно небезпечним статусом, включно з їхніми будівлями та конструкціями.

Усі зазначені документи мають бути узгоджені з центральним органом виконавчої влади, відповідальним за цивільний захист, та затверджені відповідно до регламентів центрального виконавчого органу, що курує питання будівництва та архітектури.

5.4. Охорона навколишнього природного середовища

В процесі експлуатації робочих офісних приміщень формуються відходи, управління якими мусить відповідати чинному законодавству [47].

Серед основних категорій цих відходів виділяють:

- побутові тверді відходи;
- люмінесцентні лампи, що вийшли з ладу чи відпрацювали свій термін;
- монітори (електронно-променеві трубки), пошкоджені або відпрацьовані;
- відходи, що містять пластик та кольорові метали тощо.

СП «Галка-ЛТД» здійснює, відповідно до вимог законодавства, облік та передачу утворених відходів спеціалізованим організаціям, які володіють необхідними дозвільними документами і є суб'єктами у сфері управління відходами. Однак, недоліком у системі управління відходами на підприємстві є неадекватне первинне документування утворених відходів та їх внутрішнє переміщення по території компанії.

Для зменшення кількості утворюваних відходів та збереження природного середовища необхідно впровадити та підтримувати систему управління відходами згідно з екологічним законодавством на всіх етапах: від моменту виникнення, тимчасового складування і аж до передачі відходів

компаніям, які мають дозвільні документи на їх збирання, відновлення, знешкодження чи полігонне захоронення [48-50].

Стосовно відповідальної організації і проведення науково-дослідних робіт зменшення негативного антропогенного впливу на природу є важливим чинником, особливо коли дослідження проводяться безпосередньо у виробничих умовах.

Забезпечення екологічної безпеки на об'єкті, що розглядається (СП «Галка-ЛТД»), вимагає дотримання ключових санітарно-екологічних нормативів. У випадках, коли підприємство, технічні засоби, матеріали чи інші активи не відповідають вимогам екологічної безпеки та охорони праці, виникає нагальна потреба у розробці комплексного плану дій для покращення цих параметрів.

В сучасних умовах головні напрями забезпечення екологічної безпеки включають:

- заміну санітарно-екологічно небезпечних речовин на безпечніші або менш токсичні аналоги;
- перехід від технологічних процесів та операцій, що генерують шкідливі викиди (зокрема, пил, токсичні речовини, шум, вібрацію, електромагнітне випромінювання тощо), до методів з меншим рівнем забруднення;
- використання устаткування з інтегрованими системами аспірації, а також автоматичного блокування технологічного обладнання із санітарно-технічними системами;
- впровадження систем оповіщення про несправності у роботі аспіраційних мереж;
- перехід від сухих методів обробки матеріалів, що спричиняють значне запилення, до вологих технологій;
- застосування гідравлічного або пневматичного транспорту для переміщення пилоутворюючих матеріалів;

- герметизація апаратури та установок, здатних випускати у довкілля шкідливий пил, пару чи газу;
- повне уловлювання та очищення всіх технологічних викидів, що потрапляють в атмосферне повітря та виробничі стічні води;
- впровадження технологій, що мінімізують утворення відходів або є безвідходними.

Аби запобігти введенню в експлуатацію обладнання, яке не відповідає критеріям безпеки та екологічності, проводиться його ретельна перевірка (вхідна експертиза) перед запуском. У разі виявлення невідповідності обладнання, матеріалів або технологій встановленим стандартам, вони не допускаються до впровадження у виробничий процес.

Висновки до розділу

Залежно від особливостей наукових досліджень та етапів їх виконання визначаються місце проведення, умови, тривалість виконання робіт, устаткування та інженерні мережі та ін., що зумовлює необхідність застосування певних методів, способів та засобів забезпечення безпеки праці та екологічної безпеки на основі чинних нормативно-правових актів з питань охорони праці, санітарії та гігієни праці, пожежної безпеки, техногенної безпеки та цивільного захисту, а також охорони навколишнього середовища.

З урахуванням вимог виробничої санітарії та гігієни праці згідно з чинними нормативними положеннями встановлюються граничні показники для повітряного середовища робочої зони, рівня освітленості, віброакустичного режиму та інтенсивності різних випромінювань.

У випадках, коли дослідження пов'язані з наявністю шкідливих чи небезпечних факторів виробництва, або включають роботу із забруднюючими речовинами чи проводяться в кліматичних умовах, персонал повинен бути забезпечений спеціальним одягом, захисним взуттям та іншими засобами

індивідуального захисту згідно з нормами безкоштовної видачі, які закріплені у відповідних міжгалузевих чи галузевих законодавчих актах з охорони праці.

Безпека виконання наукових досліджень в цілому досягається безпекою використовуваного устаткування, процесів, а також будівель і споруд, які утримуються в належному стані.

Машини, механізми, устаткування, транспортні засоби та технологічні апарати, які застосовуються у дослідженнях, експлуатація яких може впливати забезпечення безпеки праці, життя та здоров'я людей, повинні мати сертифікати, що засвідчують безпечність їх використання.

Безпечна експлуатація електроустановок забезпечується: реалізацією організаційних та технічних заходів; використанням електроустановок такого конструктивного виконання, яке відповідає умовам експлуатації; застосуванням заходів захисту від прямого і непрямого дотику, а також заходів додаткового захисту.

Для гарантування належного рівня протипожежного захисту, запроваджується цілісна система, що охоплює превентивні дії, метою яких є убезпечення від виникнення загорянь, створення обставин, які б стримували розповсюдження вогню, а також розроблення планів евакуації персоналу та збереження майна у випадку пожежі; крім того, створюються умови для оперативного та ефективного реагування аварійно-рятувальних формувань на відповідні інциденти.

Під час реалізації виробничого процесу здійснюється негативний вплив на довкілля. З метою мінімізації такого впливу є впровадження системи захисту навколишнього середовища, яка передбачає заходи запобігання забрудненню на етапах проектування виробництва, під час його реалізації, а також ліквідації суб'єкта господарювання, в тому числі – впровадження розширеної відповідальності виробника щодо відповідальності підприємства не лише за виробництво, але й за повний цикл життя своїх продуктів, включаючи їх збирання, відновлення та видалення після використання.

Важливим аспектом під час наукових досліджень є мінімізація негативного впливу на навколишнє природне середовище. Процес дослідження, як і будь який інший вид діяльності, має бути екологічнобезпечним і забезпечувати формування безпечного середовища для життєдіяльності людини, що уможливить стале суспільне зростання.

ВИСНОВКИ

1. В роботі розглянута проблема захисту селітебної території зокрема і навколишнього природного середовища загалом від негативного антропогенного впливу – шумового забруднення. Проблематика відповідає пріоритетним напрямкам дослідженням кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності ННІ ДТД НЛТУ України.

2. Свідченням актуальності зазначеної тематики є те, що, незважаючи на тривалі наукові дослідження, проведені вченими різних країн, наявні відповідні розробки та рекомендації, рівень негативного шумового впливу на довкілля залишається достатньо високим і часто може сягати критичних значень.

В магістерській роботі визначено актуальність, наукову проблематику, сформульовану мету та завдання запланованої науково-дослідної роботи.

3. В роботі оцінено генеровані типовими промисловими джерелами спектри шуму та ступінь їхнього негативного впливу як на здоров'я людини, так і на представників фауни та флори, потенційні соціальні та санітарно-гігієнічні збитки.

Опрацьовано наявні в загальному доступі результати досліджень за зазначеною тематикою та визначено основні напрями подальших досліджень.

4. За результатами аналізу теоретичних досліджень визначено перелік та методику експериментальних досліджень джерел емісії виробничого шуму, шляхів та закономірностей його поширення на суміжні селітебні території на прикладі конкретного суб'єкта господарювання – СП «Галка-ЛТД».

5. Під час натурних досліджень встановлено, що основними джерелами виробничого шуму СП «Галка-ЛТД», який поширюється в напрямку житлової забудови, є допоміжне устаткування, що забезпечує роботу підприємства.

На селітебній території зафіксовано перевищення допустимих санітарно-гігієнічних норм рівнів шуму, зокрема в нічний період часу.

6. Проведено аналіз основних джерел шуму, застосовуваних засобів зниження емісії шуму та звукоізоляції, виявлено закономірності виникнення та поширення механічного і аеродинамічного шуму, недоліки в організації та виконанні шумозниження, а також перспективи реалізації заходів для мінімізації шумового забруднення довкілля.

7. Запропоновано перелік організаційно-технічних заходів щодо усунення причин генерування виробничого шуму, обмеження його інтенсивності та поширення на прилеглі території.

8. З урахуванням принципів сталого розвитку та соціальної відповідальності бізнесу на прикладі конкретного підприємства, ґрунтуючись на результатах аналізу методів, способів і засобів зниження шумового забруднення та проведених аналітичних та інструментальних досліджень, в магістерській роботі запропоновано алгоритм та перелік оптимальних заходів, спрямованих на мінімізацію негативного акустичного впливу виробничої діяльності підприємства на селітебну територію.

9. Ефективність розроблення та реалізації програми зниження шумового забруднення навколишнього середовища залежить від особливостей конкретного суб'єкта господарювання щодо емісії шуму і його поширення та має базуватись на обґрунтованих результатах науково-технічних досліджень.

ДОДАТКИ

Додаток А. Характеристика розташування підприємства



Рис. А.1. Карта-схема розташування промислового майданчика СП «Галка-ЛТД».

Додаток Б. Результати інструментального контролю акустичного забруднення території житлової забудови від роботи виробничого устаткування підприємства СП «Галка-ЛТД»

Протокол № 279 від 03.10.2013р.

- 1 -

Код форми за ЗКУД
Код установи за ВСТІО

Міністерство охорони здоров'я України
Найменування закладу
**Львівський міський відділ
ДУ «ЛОЛЦ ДСЕС України»**


Медична документація
Форма № 297-0
Затверджена наказом МОЗ України
21.04.99р. №91

Свідоцтво на право проведення

досліджень № РА 014/13 від 04.02.2013р.

(номер, дата)

**ПРОТОКОЛ № 279
проведення досліджень шумового навантаження та інфразвуку**

1. Дата проведення досліджень 03.10.2013 р.
2. Підприємство, адреса : м. Львів СП «Галка-ЛТД» вул. Заповітна, 1 - заміри проводяться з 22.20-22.55 (нічний період часу).
3. Робоче місце, технологічний процес, що виконується : скарпа вул. Мельничука, 22, ос. від роботи технологічного обладнання СП «Галка-ЛТД», на території житлової забудови на відстані 2 м від огорожуючих конструкцій.
4. Мета дослідження, характер шуму: сан. гіг. оцінка умов проживання, постійний шум.
5. Засоби вимірювальної техніки Віброшумовимірник ВШВ-003 М3 № 537-445
(найменування, тип, заводський номер)
6. Відомості про повірку: 19.08.2013р. до 19.08.2014р. с-во № 30/1950
(номер свідоцтва, термін дії)
7. Нормативна документація, у відповідності до якої:
 - a) ГОСТ 23337-78 СН 3077-84 МР 4283-87
(проводяться дослідження)
 - b) СН 3077-84
(опінуються результати)
8. Присутні від підприємства: мешканець буд. 22/ос. Матвійшин В.І.
9. Посада, прізвище, ім'я, по батькові осіб, що проводять дослідження:
інженер Андрейчикова Ж.С.  (підписи)

* Номер та дата проставляються з реєстраційного журналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Magrini, A. Lisot. (2015). Noise Reduction Interventions in the Urban Environment as a form of Control of Indoor Noise Levels. *Energy Procedia*, Volume 78. 1653-1658. ISSN 1876-6102. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.246.
2. Djercan, Bojan & Bjelajac, Dajana & Bubalo Živković, Milka & Gatarić, Dragica. (2019). Noise: The disease of urban environments: Management and protection measures. *Zbornik radova Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo*. 127-142. doi:10.5937/ZbDght1902127D.
3. Harding AH, Frost GA, Tan E, Tsuchiya A, Mason HM (2013). The cost of hypertension-related ill-health attributable to environmental noise. *Noise Health*. 15(67): 437-45. doi: 10.4103/1463-1741.121253. PMID: 24231422.
4. Сторожук В.М. Виробничий шум: природа та шляхи зниження. Навч. посібн. – Київ: Основа, 2003. – 384 с.
5. Morillas, J.M.B., Gozalo, G.R., González, D.M. et al. (2018). Noise Pollution and Urban Planning. *Curr Pollution Rep* 4, 208–219. doi:10.1007/s40726-018-0095-7.
6. Сторожук В. М., Батлук В. А., Назарук М. М. Промислова екологія.: підручн. Львів: в-во УАД, 2006. – 547 с.
7. Джигирей В. С., Сторожук В. М., Яцюк Р. А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи): підручн. Вид.3-тє, доп. Львів.: Афіша, 2001. – 272 с.
8. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови: Наказ МОЗ України від 22.02.2019 № 463. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text> (дата звернення: 05.05.2020).

9. Апостолюк С.О., Мацюк Р.І., Сторожук В.М., Сомар Г.В., Миць В.І. Охорона навколишнього середовища в лісопромисловому комплексі: навч. посібн. для вузів. Львів.: Афіша, 2001. – 200 с.

10. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99: Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 року № 37. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text> (дата звернення: 27.10.2025).

11. Сторожук В.М. Акустична оцінка та шляхи зниження шумової та вібраційної активності багатопилкових шпіндельних вузлів дереворізальних верстатів.: дис... канд. техн. наук: 05.05.07. Львів, 1998. 360 с.

12. Ribner H.S. Shok-turbulence Interaktion and the Generation of noise // NASA rep. 1233, 1955.

13. Franklin P.A. Review of information on jet noise. //Noise Control. - 1958. - №3. - С. 10-14.

14. Hubbanrd H., Regier A. Free-space Oscillating Pressure near the Tips of Rotating Propellers. //NASA, rep. 996. - 1950.

15. Даценко І.І. Гігієна і екологія людини. Навч. посібн. – Львів.: Афіша, 2000. – 248 с.

16. ДСТУ 2325-93 Шум. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48150 (дата звернення: 27.10.2025).

17. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Навч. посібн. /За ред. канд. техн. наук В.Ц. Жидецького. – Львів.: Афіша, 2000. – 352 с.

18. ДСТУ 31296.1:2007. Шум. Опис, вимірювання і оцінка шуму на місцевості. Частина 1. Основні величини і процедура оцінювання (ИСО 1996-1:2003, IDT; ISO 1996-1:2003, MOD). [Чинний від 2008-04-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53955 (дата звернення: 27.10.2025).

19. ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги. [Чинний від 1996-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48151 (дата звернення: 27.10.2025).

20. ДСТУ EN ISO 3740:2019. Акустика. Визначення рівнів звукової потужності джерел шуму. Настанови щодо застосування базових стандартів (EN ISO 3740:2019, IDT; ISO 3740:2019, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88639 (дата звернення: 27.10.2025).

21. ДСТУ ISO 80000-8:2016. Величини та одиниці. Частина 8. Акустика (ISO 80000-8:2007, IDT). [Чинний від 2018-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=69026 (дата звернення: 27.10.2025).

22. ДСТУ OIML R 58:2019. Вимірювачі рівня звуку (OIML R 58:1998, IDT). [Чинний від 2021-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89194 (дата звернення: 27.10.2025).

23. ДСТУ EN 61672-1:2017. Електроакустика. Вимірювачі рівня звуку. Частина 1. Загальні технічні вимоги (EN 61672-1:2013, IDT; IEC 61672-1:2013, IDT). [Чинний від 2019-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74822 (дата звернення: 27.10.2025).

24. ДСТУ EN 61260-1:2021. Електроакустика. Фільтри смугові октавні та частинооктавні. Частина 1. Технічні вимоги (EN 61260-1:2014, IDT; IEC 61260-1:2014, IDT). [Чинний від 2022-09-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96917 (дата звернення: 27.10.2025).

25. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Зі змінами. [Чинний від 2019-03-07]. URL:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=46705 (дата звернення: 27.10.2025).

26. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. [Чинний від 2014-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54101 (дата звернення: 27.10.2025).

27. ДБН В.1.2-10:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму та вібрації. [Чинний від 2022-09-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98035 (дата звернення: 27.10.2025).

28. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. [Чинний від 2014-06-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56317 (дата звернення: 27.10.2025).

29. Сторожук В. М. Захисні смуги озеленення як один із аспектів архітектурно-планувального методу зниження шумового забруднення міст / В. М. Сторожук // Науковий вісник: збірн. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001. – Вип. 11.4. – С. 198-203.

30. Сторожук В. М. Архітектурно-планувальний метод зниження шумового забруднення міст: екранування шуму / В. М. Сторожук, Г. А. Матвеева // Науковий вісник: збірн. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.2. – С. 82-85.

31. Storozhuk, V., Kshyvetskyu, B., Mayevska, O., Somar, H., Sokolovskyi, I., & Melnikov, A. (2021). Основні аспекти захисту навколишнього середовища від міського шуму. *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій*. Серія: Харчові технології, 23(96), 88-92. URL: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9615> (дата звернення: 27.10.2025).

32. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. [Чинний від 2014-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54101 (дата звернення: 27.10.2025).

33. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. [Чинний від 2018-05-18]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77160 (дата звернення: 27.10.2025).

34. Сторожук В., Мельников О., Яцюк Р., Мохняк С. Забезпечення безпеки праці та охорони довкілля під час проведення наукових досліджень // Безпека праці. Теорія і практика сучасного розвитку: моногр. / за ред. О. Нагурського; Одеський держ. екологічний ун-т. – Львів: Західно-Український консалтинг центр, 2021. С. 260-271.

35. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). [Чинний від 2017-08-21]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758 (дата звернення: 27.10.2025).

36. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний від 1998-02-20]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644 (дата звернення: 27.10.2025).

37. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Чинний від 2000-02-25]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=21826. (дата звернення: 27.10.2025).

38. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний від 2017-02-21]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29329 (дата звернення: 27.10.2025).

39. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65395 (дата звернення: 27.10.2025).

40. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. URL:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=14283 (дата звернення: 27.10.2025).

41. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2006-10-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 (дата звернення: 27.10.2025).

42. Сторожук В.М., Сомар Г.В., Соколовський І.А. Охорона праці в галузі та цивільний захист: метод. рекомендації для виконання практичних робіт. Львів: НЛТУ України, 2024. 106 с.

43. НРБУ-97/Д-2000. Норми радіаційної безпеки України. Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення. Державні гігієнічні нормативи (ДГН 6.6.1. - 6.5.061-2000). [Чинний від 2000-07-12]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56478 (дата звернення: 27.10.2025).

44. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419 (дата звернення: 27.10.2025).

45. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2001-06-21]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47257 (дата звернення: 27.10.2025).

46. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2014-08-14]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60541 (дата звернення: 27.10.2025).

47. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 р. № 2320-IX. Дата оновлення 15.11.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 27.10.2025).

48. Сторожук В.М. Технології захисту навколишнього середовища. Поводження з відходами: підручн. / В.М. Сторожук, О.В. Мельников, Б.Я. Кшивецький, Г.В. Сомар, І.А. Соколовський, О.М. Маєвська; М-во освіти і

науки. Нац. лісотехн. ун-т України - К.: Видавничий дім "Професіонал", 2023. – 354 с.

49. Сторожук В.М., Кшивецький Б.Я., Маєвська О.М., Ференц О.Б., Соколовський І.А. Виклики сьогодення в управлінні відходами // Екологічна безпека в умовах війни : збірник тез доповідей V-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 21 листопада 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С.91-93. URL: <https://is.gd/jqGGeh> (дата звернення: 27.10.2025).

50. Storozhuk, V., Kshyvetskyu, B., Mayevska, O., & Ferents, O. (2024). Особливості управління відходами в сучасних умовах. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 30, 48-55. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.30.2024.05> (дата звернення: 27.10.2025).