

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ ТА ПРОФЕСІЙ
CNAM, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

Д.Т.Н., проф.

(вч. звання, ступінь)

«15»

(підпис)

Тютюкін О. Л.

(ПІБ)

2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

на отримання ОКР «магістр»

Напрям 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Тема «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Вивчення шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту
відповідно до Європейської методики CNOSSOS-EU та вимог
інтероперабельності


(підпис)

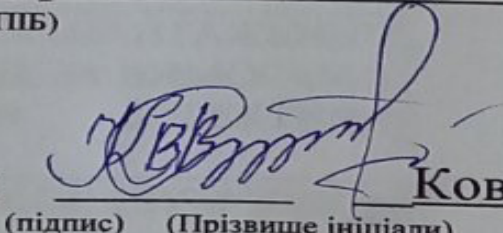
Бобрівець Світлана Михайлівна

(ПІБ)

Керівник:

Д.Т.Н., доцент

(вч. звання, ступінь)


(підпис)

Ковальчук В. В.

(Прізвище ініціали)

Дніпро
2022

ЗАЯВА

Я, Боднівська Світлана Михайлівна
(ПІБ повністю)

Студенті групи 8-Інтер
(шифр групи)

Спеціальності 273 Загальний транспорт
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інтероперабельність і безпека на ЗСТ
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Дослідження шквальної поведінки при
руху сипу замішувача України виробництва
Євробітсваї на основі СНД 803-ЕЧ та інших джерел

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 29.11.2022 Підпис [підпис]

Керівник Ковальчук ВВ Підпис [підпис]

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

ДИПЛОМНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ ТА ПРОФЕСІЙ
CNAM, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

д.т.н., проф.

(вч. звання, ступінь)

« 15 »

(підпис)

Тютюкін О. Л.

(ПІБ)

2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

на отримання ОКР «магістр»

Напрям 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Тема: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Вивчення шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту
відповідно до Європейської методики CNOSSOS-EU та вимог
інтероперабельності

(підпис)

Бобрівець Світлана Михайлівна

(ПІБ)

Керівник:

д.т.н., доцент

(вч. звання, ступінь)

(підпис)

(Прізвище ініціали)

Ковальчук В. В.

Дніпро
2022

ЗАЯВА

Я, Боднівська Світлана Михайлівна
(ПІБ повністю)

Студенті групи 8-Тибер
(шифр групи)

Спеціальності 273 Загальний транспорт
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інженерне управління і безпека на СТ
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Дослідження шквальної поведінки при
руху санду заміни в Україні в режимі
роботи між двома станціями СНОС-ІС та СНОС-ІІ

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 29.11.2022 Підпис [підпис]

Керівник Ковальчук В.В. Підпис [підпис]

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ ТА ПРОФЕСІЙ
CNAM, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

Д.Т.Н., проф. _____ Тютюкін О. Л.
(вч. звання, ступінь) (підпис) (ПІБ)
« ____ » _____ 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

на отримання ОКР «магістр»

Напрям 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема Дослідження шумового навантаження від рухомого складу залізниць
України відповідно до Європейської методики CNOSSOS-EU та вимог
інтероперабельності

Виконала:

_____ Бобрівець Світлана Михайлівна
(підпис) (ПІБ)

Керівник:

Д.Т.Н., доцент _____ Ковальчук В. В.
(вч. звання, ступінь) (підпис) (Прізвище ініціали)

Дніпро
2022

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						1
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

TCl	Технічні специфікації інтероперабельності.
EN	Європейські стандарти.
РШР	Рейко-шпальна решітка.
DB	Німецькі залізниці
BS	Британські стандарти
Рівень звукового тиску випромінювання (дБ)	Десятикратний логарифм при основі, що дорівнює десяти, відношення квадрата звукового тиску випромінювання, виміряного з певними часовою та частотною характеристиками шумоміра до опорного звукового тиску (20 мкПа).
Еквівалентний рівень звуковипромінювання	Еквівалентний рівень звукового тиску випромінювання, виміряний з частотною характеристикою шумоміра.
Акустичний екран	Протяжна штучна перешкода, що встановлюється на дорогах поширення шуму від реального джерела (залізничного транспорту) до захищеному від шуму об'єкта.
Акустична ефективність екрана, дБ, дБА:	Величина, яка визначається як різноманітність рівнів звукового тиску, дБ (рівневого звуку, дБА) в одній і тій же вимірювальній (розрахунковій) точці екрану.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ І ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ДО ОЦІНКИ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ	8
1.1. АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЯКІ ВИКЛИКАЮТЬ ШУМ ПРИ ПРОЇЗДІ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ	8
1.2. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ У КРАЇНАХ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	9
1.3. ДЖЕРЕЛА ЗАЛІЗНИЧНОГО ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	14
1.4. ДЖЕРЕЛА ШУМУ НА МАНЕВРОВИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ	17
1.5. ВИМОГИ TSI NOISE, ЩОДО РІВНІВ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	17
Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА ВИМОГАМИ CNOSSOS-EU ТА ВИМОГАМИ ДИРЕКТИВИ 2002/49/ЕС.....	21
2.1. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ CNOSSOS-EU..	21
2.2. ОЦІНКА ШУМУ ВІД КОЧЕННЯ КОЛІС ІЗ ВРАХУВАННЯМ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ РЕЙОК І КОЛІС РУХОМОГО СКЛАДУ.....	22
2.3. ОЦІНКА ШУМУ ВІД УДАРУ КОЛЕСА ПРИ ПРОЇЗДІ СТИКІВ ТА ХРЕСТОВИН СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ.....	23
2.4. АНАЛІЗ ВИМОГ ДИРЕКТИВИ 2002/49/ЕС, ЩОДО ОЦІНКИ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ...	24
2.5. ПЛАНИ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ШУМУ. СТАТУС ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ДИРЕКТИВИ 2002/49/ЕС.....	24
2.6. ВИМОГИ TSI ДО ОЦІНКИ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	25
2.7. ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЕННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ЗАЛІЗНИЦЬ.....	26
Висновки до розділу 2	27

					0053.216523.ДР.2022.001			
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Дослідження шумового навантаження від рухомого складу залізниць України відповідно до Європейської методики CNOSSOS-EU та вимог інтероперабельності	Літ	Лист	Листів
Розробила	Бобрівець С.М.							
Перевірів	Ковальчук В.В.							
Н. контр.								
Затвердив	Тютюкін О.Л.							

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ ВІДПОВІДНО ДО МЕТОДИКИ CNOSSOS-EU	29
3.1. Загальні положення вимірювання шумового навантаження від рухомого складу	29
3.2. Методика проведення вимірювань шумового навантаження при проїзді рухомого складу залізниці	29
3.3. Програма експериментальних вимірювань шумового навантаження.....	31
3.4. Результати експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць.....	31
Висновки до розділу 3	35

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	36
4.1. Аналіз методів зниження шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту	36
4.2. Шумозахисні екрани для зниження шумового навантаження.....	38
4.3. Вимоги до екранів для забезпечення акустичної ефективності	39
4.4. Вимоги до розміщення шумозахисних екранів біля залізничної колії.....	42
4.5. Заходи щодо зниження шуму від рухомого складу залізниць	44
4.5.1. Зниження шуму від коліс, який спричинений шорсткістю поверхонь кочення і гальмуванням.....	44
4.5.2. Зниження шуму за рахунок удосконалення коліс рухомого складу.....	45
4.5.3. Зниження шуму за рахунок удосконалення елементів конструкцій залізничної колії.....	47
Висновки до розділу 4	51

ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ЛІТЕРАТУРА.....	54
СПИСОК РИСУНКІВ	60
СПИСОК ТАБЛИЦЬ.....	62
АНОТАЦІЯ І КЛЮЧОВІ СЛОВА.....	63

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						5
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

В останні роки погіршення екології у світі викликає значне занепокоєння. Особливо привертає увага дослідників, щодо впливу шумового навантаження на здоров'я людей. Гострою проблемою стоїть питання зниження рівня шуму на територіях, де постійно перебувають, проживають люди. Оскільки збільшення шумового навантаження викликає проблеми зі здоров'ям, а саме: втомлюваність, безсоння, головні болі тощо.

Потужними джерелами шумового навантаження є промислові підприємства, майданчики виконання будівельно-монтажних робіт тощо. Окремо слід виокремити шумове навантаження від дії транспортних потоків, а саме рухомого складу залізниць.

Актуальність теми. За останні роки інтенсивність транспортних потоків збільшилася майже втричі. Все це призводить до додаткового шумового навантаження на прилеглі території. Вимірювання шумового навантаження від автомобільного транспорту показали, що на 25–35 дБ шумове навантаження перевищує допустимі норми для сельбищних територій.

Окрему групу, що викликає шумове навантаження, слід розглядати навантаження від рухомого складу залізничного транспорту. Особливо при розташуванні залізничної колії у містах. Однак досліджень шумового навантаження від рухомого складу залізниць в Україні не приділяється належна увага.

Тому питання дослідження шумового навантаження від рухомого складу залізниць, які розглядаються у магістерській роботі є актуальними і своєчасними для їх виконання.

Мета роботи. Метою магістерської роботи є дослідження шумового навантаження від рухомого складу залізниць України відповідно до Європейської методики CNOSSOS-EU та вимог інтероперабельності.

Для досягнення вказаної мети у магістерській роботі поставлено такі задачі досліджень:

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						6
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

-виконати аналіз нормативних документів щодо оцінки шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту;

-виконати аналіз методики CNOSSOS-EU та вимог інтероперабельності щодо оцінки шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту;

-провести експериментальні вимірювання шумового навантаження при русі рухомого складу залізниць;

-запропонувати рекомендації із зменшення шумового навантаження від дії рухомого складу залізниць.

Об'єкт дослідження – шумове навантаження від рухомого складу залізниць.

Предмет дослідження – методи оцінки шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						7
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ І ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ДО ОЦІНКИ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

1.1. Аналіз чинників, які викликають шум при проїзді рухомого складу залізниць

При проїзді рухомого складу залізничного транспорту виникає вібраційна та шумова дії [1]. В основному, рух поїздів викликає шум та вібрацію за рахунок технічно-несправних ходових частин рухомого складу та елементів і конструкцій залізничної колії (рис. 1.1). А саме:

- геометричне відхилення коліс від форми кола (знос, повзуни тощо);
- викришування на поверхні коліс;
- нерівність рейок у вертикальній та горизонтальній площинах;
- особливості конструкції хрестовин стрілочних переводів, які спричиняють удари коліс рухомого складу при проїзді хрестовинного вузла;
- просадки рейок у зоні неоднорідного земляного полотна, які спричиняють утворення нерівностей на поверхнях кочення рейок.

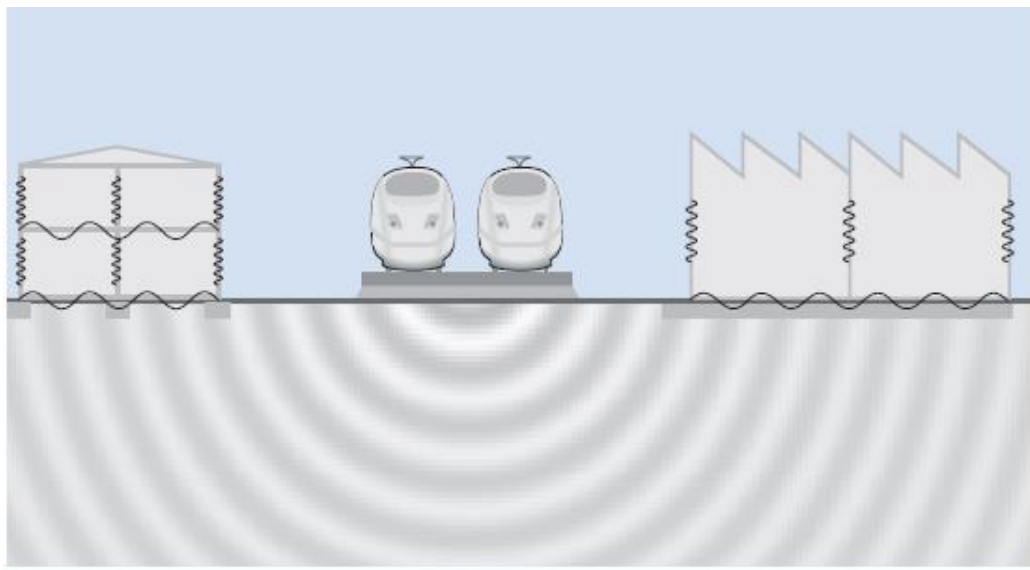


Рисунок 1.1 – Дія рухомого складу залізниці на розповсюдження вібрації та шуму у навколишнє середовище [1]

У результаті, шумові навантаження, що виникають при проїзді рухомого складу залізниць негативно впливають на залізничні конструкції та навколишнє середовище. Оскільки вони мають великі діапазони частот коливань.

На рис. 1.2 наведено граничну залежність діапазону частот та їх вплив на прилеглі конструкції, будівлі та оточуюче середовище.

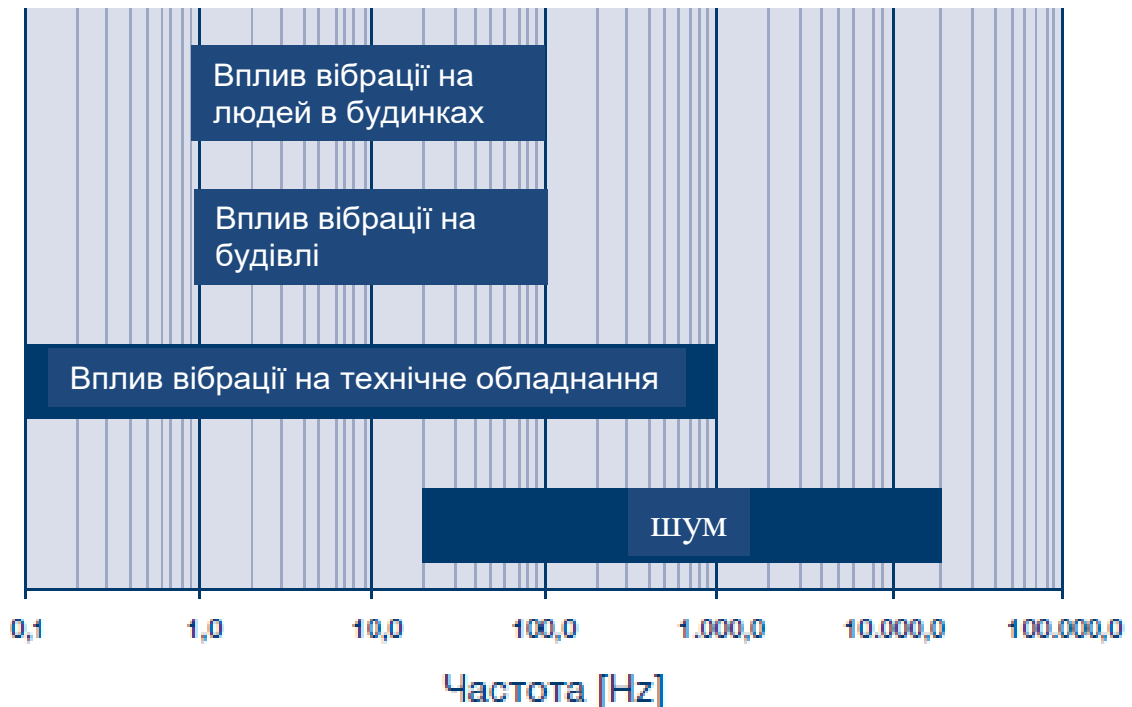


Рисунок 1.2 – Графік впливу діапазону частот на будівлі, споруди, обладнання та людей при проїзді рухомого складу залізниць [1]

Якщо по території із щільною забудовою прокладена залізнична колія, необхідно контролювати шумове навантаження від рухомого складу залізниць та розробляти заходи зниження шумового навантаження. Тому міська забудова, яка планується на перспективу вздовж рейкової колії залізниць повинна враховувати методи захисту мешканців від дії шумового навантаження.

1.2. Аналіз проблем шумового навантаження у країнах Європейського Союзу

Проблема залізничного шуму гостро стоїть у Центральній Європі, де проживає більшість жителів і рухається найбільша кількість вантажних поїздів

[2–6]. Результати проведених досліджень у 2010 р. [2–6] показали, що шум від залізничного транспорту протягом дня впливає приблизно на 12 мільйонів жителів Європейського Союзу, при цьому рівень шуму перевищує 55 дБ, і приблизно 9 мільйонів жителів зазнають впливу нічного шуму із рівнем вищим за 50 дБ.

У Європейському Союзі вимоги до шумового навантаження наведено у Директиві 2002/49/ЕС Європейського парламенту та Ради [7]. Ця директива спрямована на визначення загального підходу, щодо запобігання шкідливого впливу шумового навантаження від рухомого складу залізниць на навколишнє середовище.

Методи оцінки та контролю шумового навантаження на навколишнє середовища наведено у роботі [8]. Зазначено, що основною проблемою є використання різних методів вимірювання та прогнозування шуму. Слід зазначити, що гранично допустимі значення шумового навантаження для автомобільного та залізничного транспорту, в окремих країнах-членах ЄС, становлять різні рівні, що відображено у працях [9, 10].

У 2012 році ЕАА провів експериментальні вимірювання шумового навантаження, що впливають на мешканців країн ЄС у 467 міських агломераціях. Результати досліджень наведено на рис. 1.3.

Індикатор шуму L_{den} , який широко використовується для оцінки впливу шуму на здоров'я людей показав, що його значення L_{den} вище за нормативний показник 55 дБ.

За даними Європейського агентства з навколишнього середовища (ЕЕА), Словаччина посідає друге місце у Європі, яка найбільше страждає від залізничного шуму, відповідно до частки їхнього населення, з L_{den} понад 55 дБ. Близько 9 % населення Словаччини піддається впливу шуму від залізничного транспорту.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						10
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

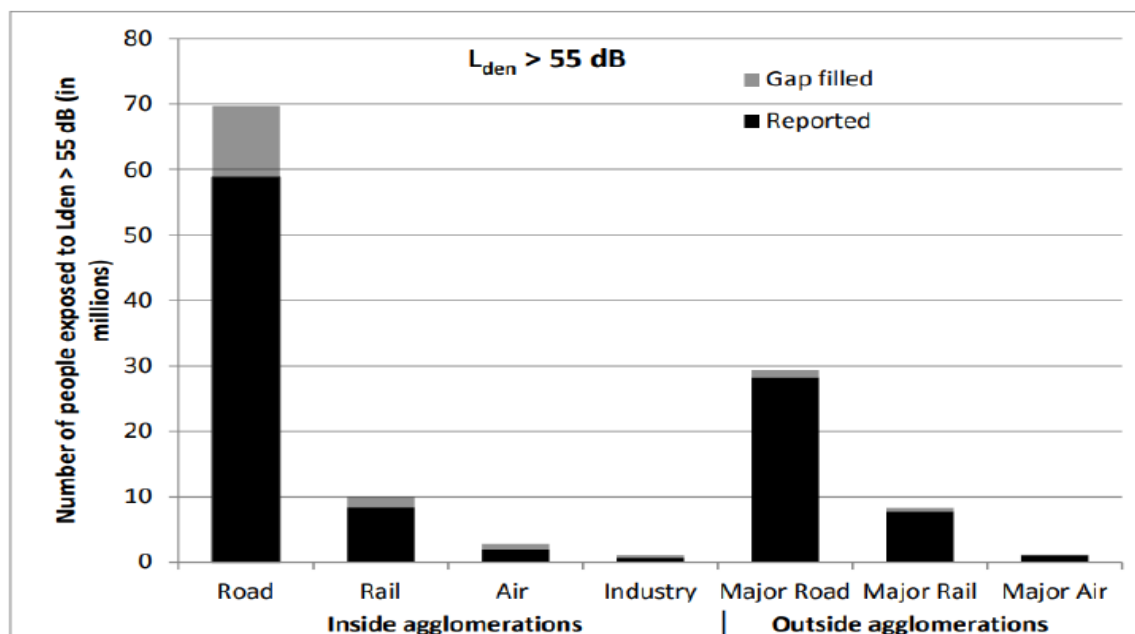


Рисунок 1.3 – Результати досліджень шумового навантаження на навколишнє середовища в Європі $L_{den} > 55$ дБ у 28 країнах-членах ЄС

При порівнянні результатів вимірювання шумового навантаження від залізничного транспорту у центральній Європі із результатами, отриманими за допомогою методів прогнозування «Schall 03» та методичних вказівок з розрахунку рівня звукового тиску транспорту (MPVHD), у Словаччині було проведено експериментальні вимірювання шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту.

Вимірювання шумового навантаження проводилось у центральній частині міста Зволен на залізниці. Вигляд ділянки наведено на рис. 1.4.

Вимірювання проводилось на відстані 7,5 м від осі залізниці № 170, на висоті 1,5 м над поверхнею місцевості, перпендикулярно до осі залізничної колії.



Рисунок 1.4 – Ділянка залізниці ZV1/ZV2, Словаччина [2]

Висота вимірювання над залізничною колією становила 3,5 м. Висота насипу 0,5 м. Номер та тип рухомого складу визначалися після кожного результату вимірювань. Результати вимірювань наведено на рис. 1.5.

У результаті вимірювань встановлено, що еквівалентний рівень звукового тиску A в контрольний час «день» становив $L_{Aeq,12h}=59,3$ дБ. Із рис. 1.5 видно, що тенденція визначальних величин, отриманих методами прогнозування та вимірюванням шумового навантаження є подібними. Однак очевидно, що значення еквівалентних рівнів звуку A у відповідний час доби має різні значення. Найбільша різниця в $L_{Aeq,1h}$ була для інтервалу 10-ої ранку та 11-ої ранку, коли зафіксовано лише один проїзд поїзда. Методи прогнозування не могли цього врахувати.

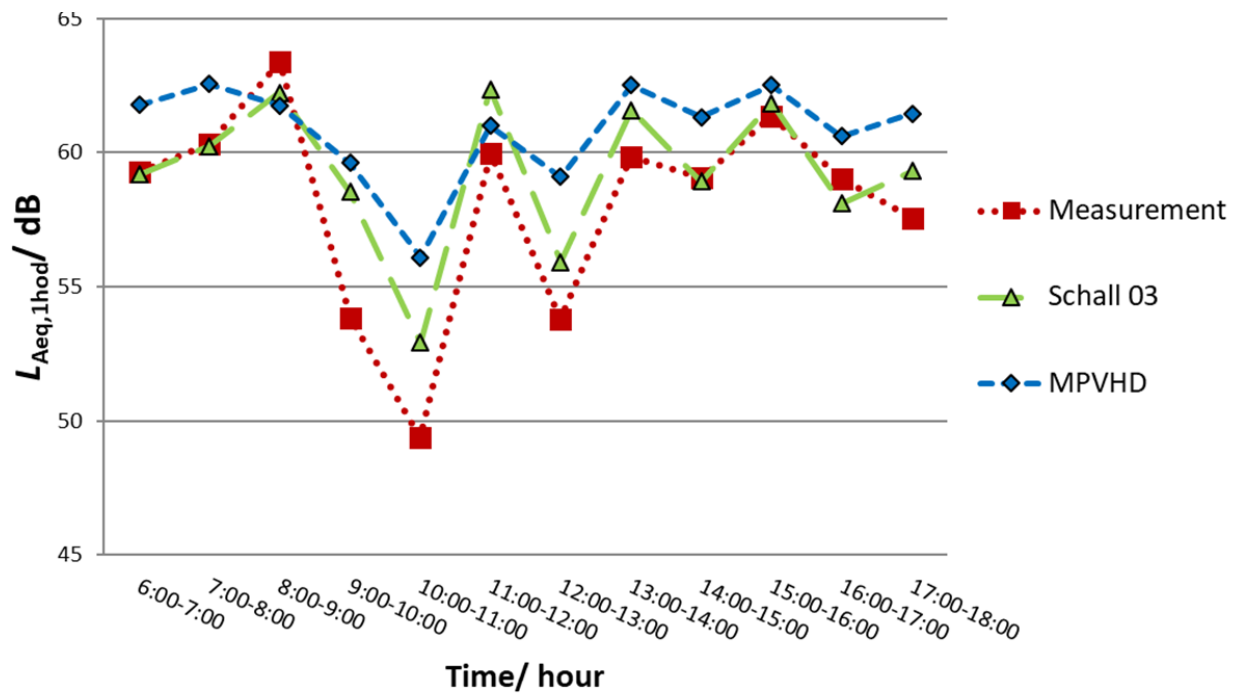


Рисунок 1.5 – Результати вимірювання шумового навантаження на ділянці ZV1 та порівняння із відомими методами Schall 03, MPVHD

На основі проїздів поїздів, побудовано шумові карти (рис. 1.6) поблизу місць вимірювань за допомогою програми CadnaA [11, 12].

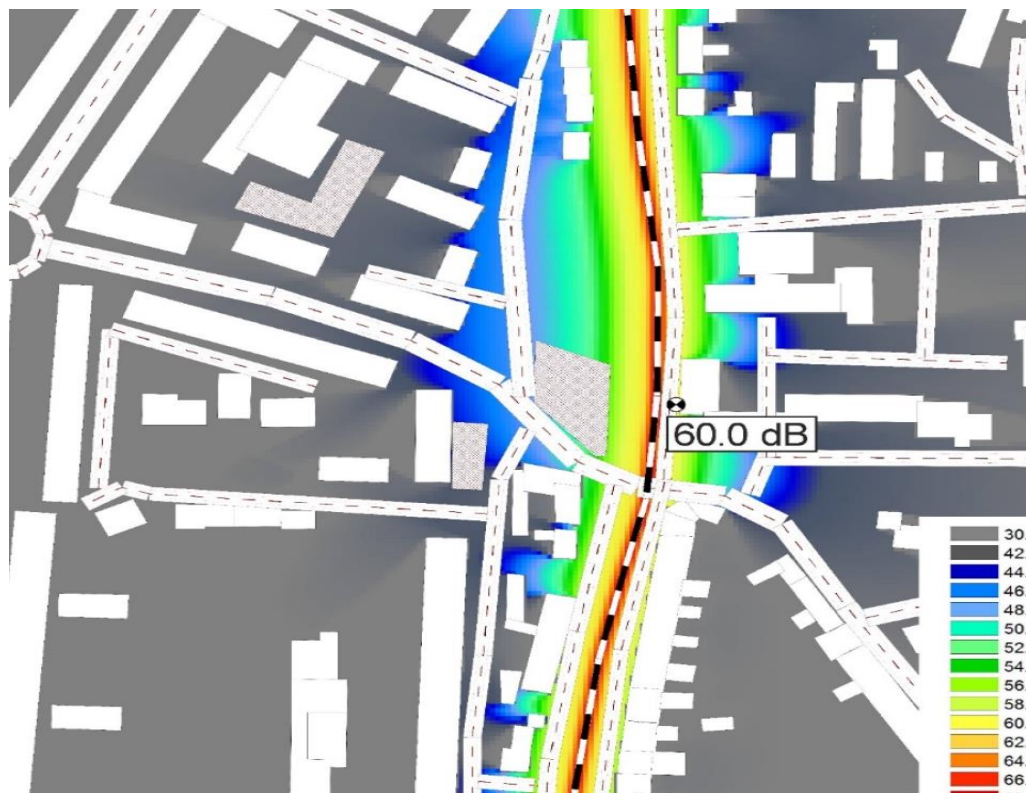


Рисунок 1.6 – Карта шумового навантаження на ділянці залізничної колії ZV1

Із карти бачимо, що найбільше шумове навантаження припадає на центральну частину міста вздовж залізничної колії. Біля фасадів будинків зафіксовано величину шуму близько 60 дБ, що перевищує допустиму норму 55 дБ.

1.3. Джерела залізничного шумового навантаження на навколишнє середовище

Основним джерелом залізничного шуму є шум від кочення коліс вантажних залізничних вагонів по колії. Незначне значення має шум двигунів (на низьких швидкостях), а на швидкісних залізницях – аеродинамічний шум.

Також на величину шумового навантаження впливає рік випуску рухомого складу. Рухомий склад, уведений в експлуатацію із 2000 року, має приблизно на 10 дБ менший рівень шуму, порівняно із рухомим складом 1960-1970-х рр. випуску.

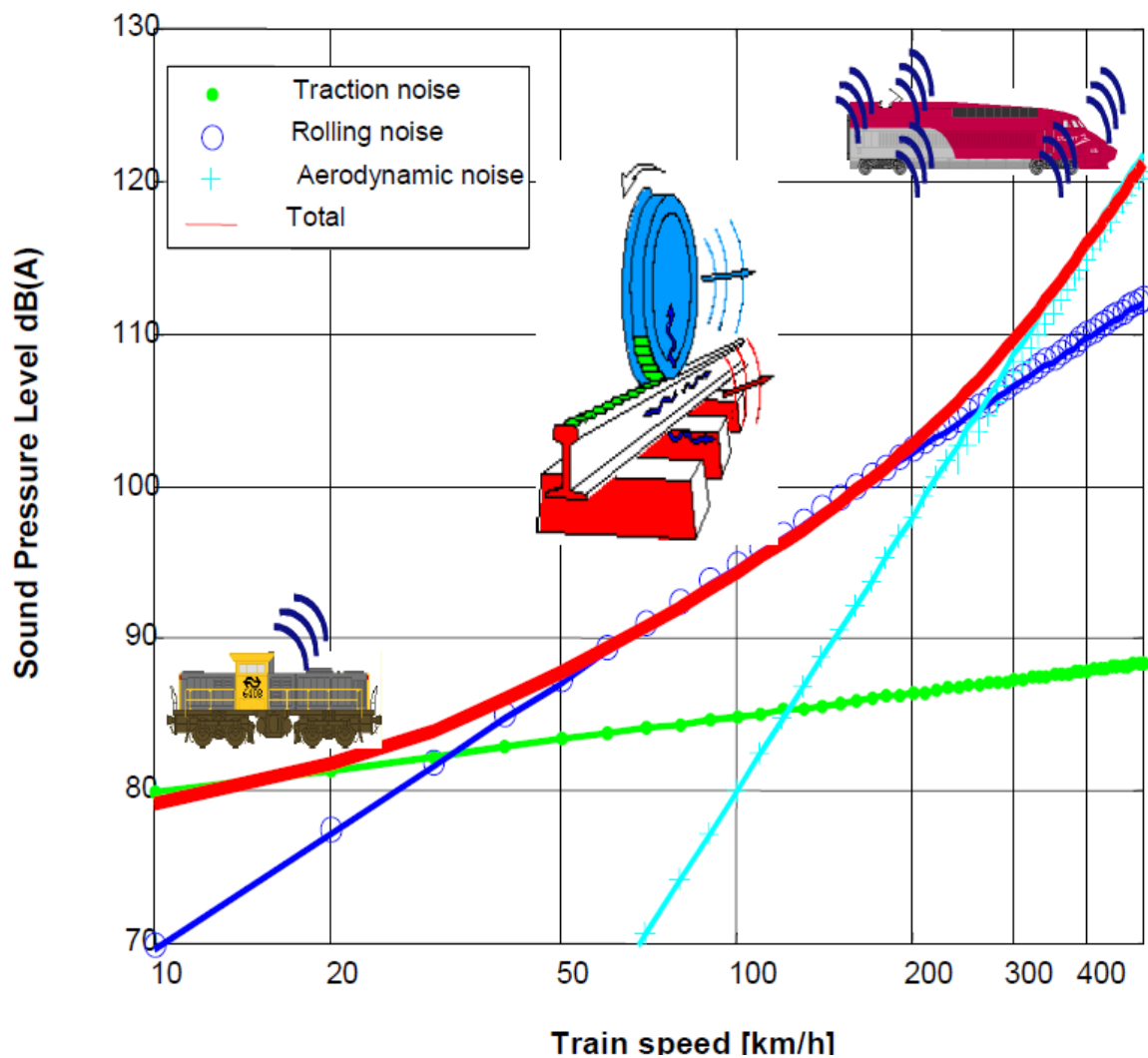
Існує багато досліджень і публікацій щодо джерел залізничного шуму. Робоча група Європейської комісії стосовно визначення залізничного шуму опублікувала у праці [13] стратегію та пріоритети, щодо зменшення шуму від залізничного транспорту. Крім цього у праці 2008 р. [14] розроблено рекомендації зменшення шумового навантаження від залізничного транспорту.

Обидва дослідження [14, 15] виокремили такі основні джерела залізничного шуму:

- шум від кочення коліс;
- шум силового обладнання;
- аеродинамічний шум.

Інтенсивність і відносні частки цих джерел шуму залежать від швидкості руху поїзда. На низькій швидкості, шум силового обладнання є домінуючим джерелом. На рис. 1.7 наведено джерела домінуючого шуму.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		14



Джерело: UIC 2008 [14], стор. 7

Рисунок 1.7 – Джерела залізничного шуму залежно від швидкості поїзда

Із рис. 1.7 видно, що домінуючим джерелом є шум від кочення коліс при швидкості руху від 50 до 200 км/год. Такий діапазон швидкості, який впливає на більшість людей, які живуть поблизу залізничних колій. Низькі швидкості руху рухомого складу зустрічаються лише на маневрових станціях, біля станцій чи на виробничих підприємствах. Швидкості більше 200 км/год можна знайти лише на високошвидкісних залізничних лініях.

У діапазоні швидкостей від 50 до 200 км/год також попадають вантажні поїзди, які рухаються із середньою швидкістю близько 100 км/год. У наукових дослідженнях стверджується, що вантажний рухомий склад залізниць має

Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата

0053.216523.ДР.2022.001

Лист

15

значний вплив на шумові навантаження. У табл. 1.1 наведено важливість визначення джерел шуму у залежності від типу поїзда.

Таблиця 1.1 – Важливість визначення джерел шуму від рухомого складу [13]

ACTION	ROLLING NOISE	POWER EQUIPMENT NOISE	AERODYNAMIC NOISE
Freight trains	++	+	Not relevant
High speed trains	++	+	++
Intercity or other long distance trains	++	+	Not relevant
City railways (tram)	++	+	Not relevant

Source: EC 2003, page 18.

Із табл. 1.1 видно, що значний вплив має шум, що виникає від кочення коліс рухомого складу та шум від дії високошвидкісних поїздів. У роботі [13] вважається, що пасажирські поїзди тихіші, оскільки вони оснащені дисковими гальмами.

На рис. 1.8 наведено вплив шуму силового обладнання (дизельний двигун, 1968-1979 рр. випуску, німецький тип 218), при проїзді поїзда. Шум двигуна має великий вплив на початку проходження поїзда, але через кілька секунд основним впливом є шум кочення коліс.

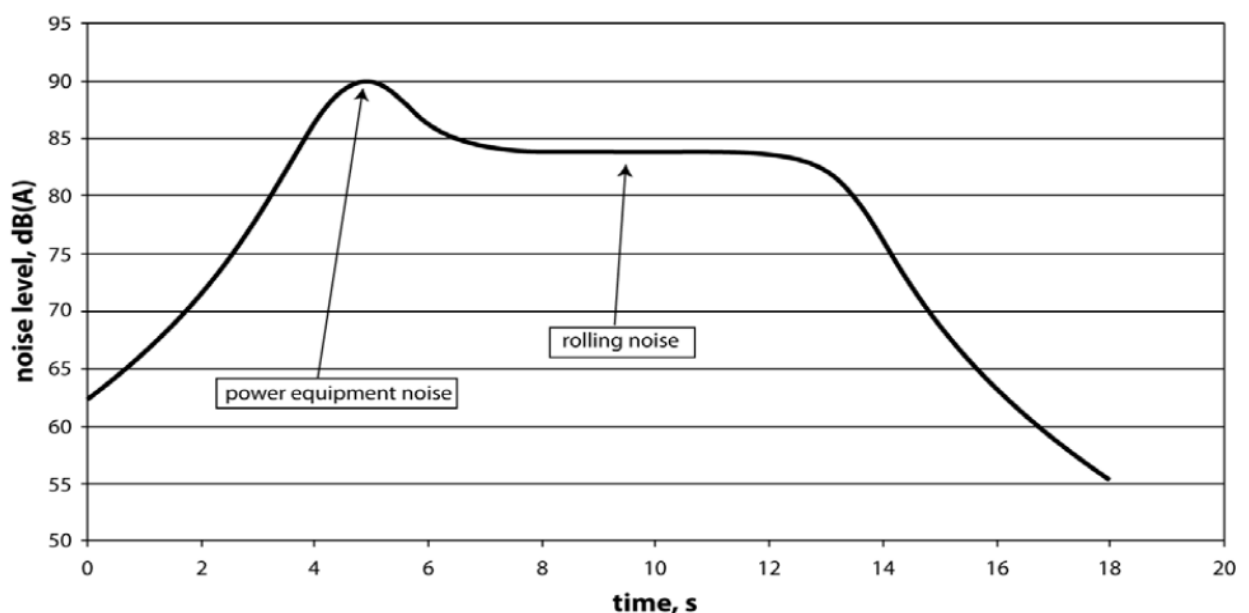


Рисунок 1.8 – Крива розвитку шумового навантаження при русі поїзду

1.4. Джерела шуму на маневрових залізничних станціях

У випадку маневрових станцій, основними джерелами шуму є:

-шум двигунів від маневрових поїздів, особливо слід враховувати багато фаз прискорення та гальмування;

-шум від вагонів;

-шум гальм: входні поїзди, гальмування маневрових двигунів, гальмування вагонів гірковими сповільнювачами (одне з найгучніших джерел шуму), випробування гальм поїздів;

-шум від маневрових ударів.

Однак, слід зазначити, що більшість маневрових станцій розташовані за межами житлових територій. У деяких країнах навіть відмовилися від транспортування одних вагонів.

Шум двигуна актуальний на низьких швидкостях поїзду, тому переважно біля станцій. Це стосується особливо шуму при прискоренні, коли двигуни (особливо дизельні) працюють на високій потужності.

1.5. Вимоги TSI Noise, щодо рівнів шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Рівень шумового навантаження для існуючих залізничних вагонів і двигунів визначається за TSI Noise [16]. Встановлено, що рухомий склад, що випускався після 2000 р. має нижчі показники шумового навантаження за рухомий склад до 2000 р. випуску. Лише у випадку оновлення або модернізації вагона чи двигуна є необхідність зменшення шумового навантаження за дозволом національних органів влади, при цьому на рівні шуму повинні бути отримані нові дозволи.

У Швейцарії проведено дослідження шумового навантаження від старого та нового рухомого складу [17]. Встановлено, що рівні шуму відрізняються. Двигун локомотиву Re 460 (також відомий як Lok 2000) досі залишається одним із найтихіших двигунів і був найтихішим транспортним засобом з усіх поїздів до появи пасажирського двоповерхового поїзду IC 2000 (рис. 1.9).

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		17

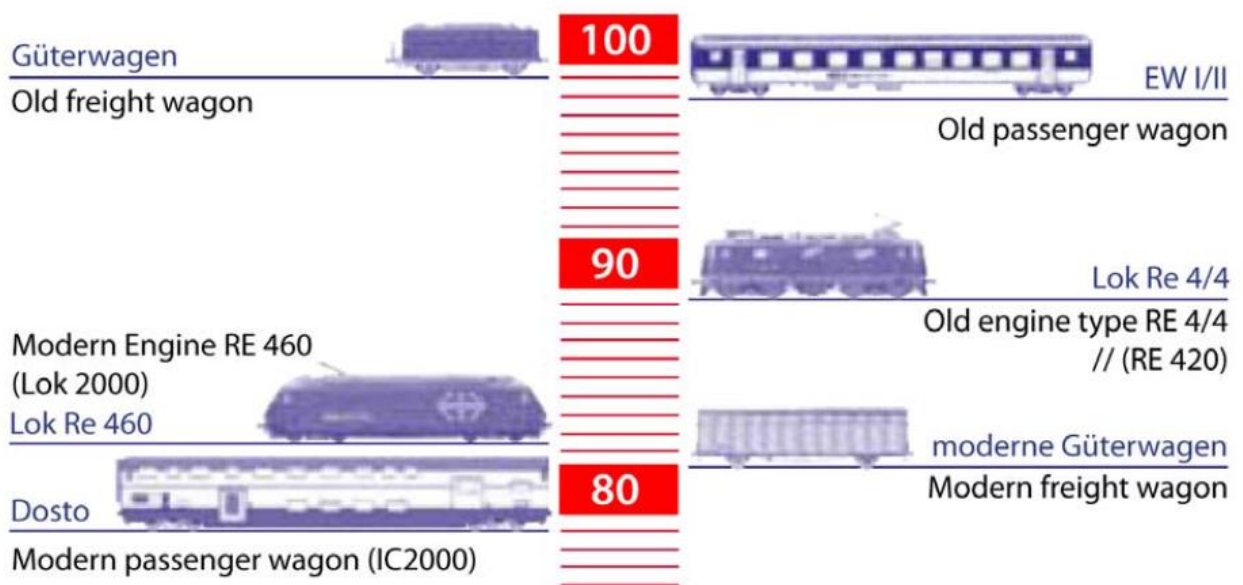


Рисунок 1.9 – Розвиток рівнів шуму від рухомого складу (Швейцарія)

Згідно TSI Noise максимальний рівень шуму для електричних двигунів повинен становити не вище 85 дБ(А) і 80 дБ(А) для пасажирських вагонів при швидкостях руху до 80 км/год. Максимальні та реальні рівні шумового навантаження від швидкісного рухомого складу наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Максимальний та реальний рівні шуму від високошвидкісних поїздів

SPEED	MAXIMUM NOISE EMISSION ACCORDING TSI NOISE	CURRENT EMISSION OF GERMAN HIGH SPEED TRAINS	DIFFERENCE
250 km/h	87 dB(A)	87 – 94 dB(A)	0 – 7 dB(A)
300 km/h	91 dB(A)	91 – 95 dB(A)	0 – 4 dB(A)
320 km/h	92 dB(A)	92 – 96 dB(A)	0 – 4 dB(A)

Source: Mather 2006.

Результатом є те, що більшість дій, по зниженню шумового навантаження, все ще необхідно реалізувати на залізничних вантажних вагонах і менше на пасажирських поїздах із сучасними двигунами.

У праці [18] наведено заходи щодо зменшення шуму від залізничного транспорту, а також наводиться порівняння шумового навантаження від старого та нового рухомого складу (рис. 1.10).

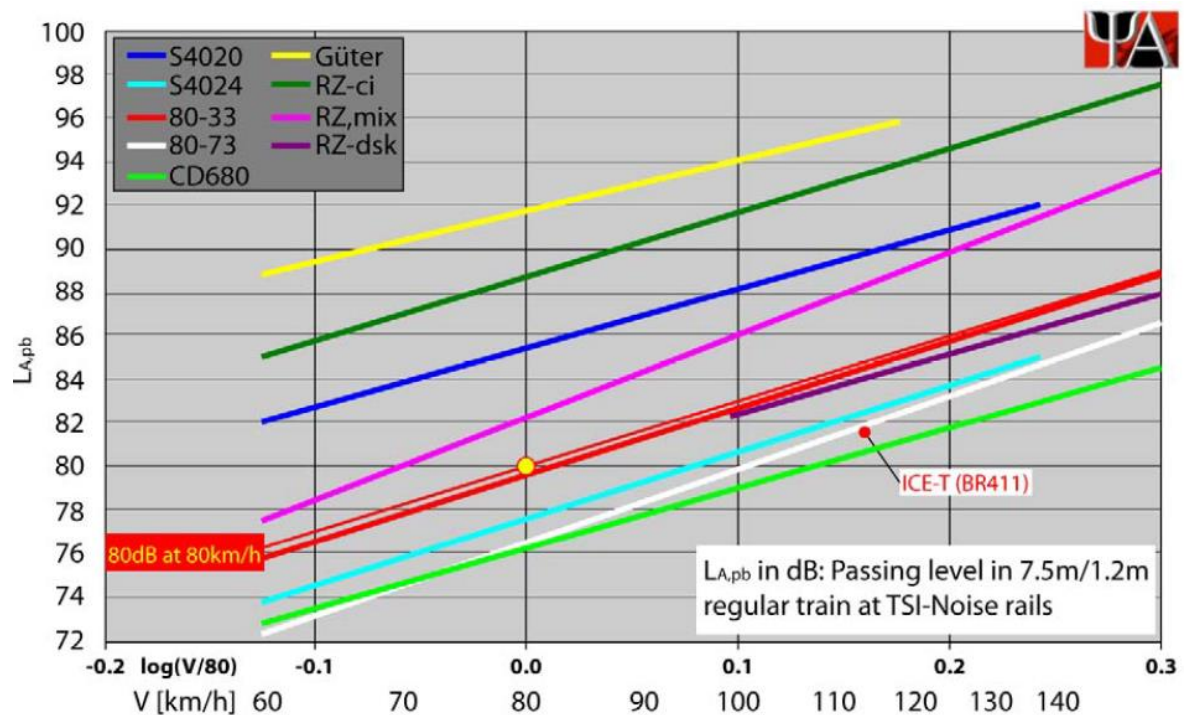


Рисунок 1.10 – Рівень шуму від австрійських самохідних залізничних транспортних засобів

Встановлено, що тип транспортного засобу S4020, виготовлений між 1978 і 1987 рр. на всіх швидкостях приблизно на 8–10 дБ(А) шумніший, ніж тип S4024 (Bombardier electric Talent), що випускається із 2006 року. При швидкості 80 км/год для типу S4024 зустрічається нижчі значення шуму за рекомендовані в TSI.

Із рис. 1.10 видно, що поїзди із дизельними двигунами є шумнішими за поїзди із електродвигунами, ця різниця коливається до 8 дБ. Проведені дослідження показують, що впровадження нового рухомого складу може значно знизити рівень шуму. Тим не менше, рівень шуму становить близько 80 дБ(А) для нового та модернізованого рухомого складу, що потребує подальшого удосконалення рухомого складу залізниць.

Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналізу шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту отримано наступні висновки:

1. Основними джерелами залізничного шуму є шум від кочення коліс рухомого складу, шум від роботи силового обладнання поїздів та – аеродинамічний шум на високошвидкісних залізницях.

2. Із аналізу наукових робіт встановлено, що поїзди із дизельними двигунами є шумнішими за поїзди із електродвигунами. Різниця шумового навантаження коливається до 8 дБ.

Проведені дослідження показують, що рухомий склад після 2000 р. випуску має значно нижчий рівень шуму у порівнянні із випусками рухомого складу до 2000 р. Тим не менше, рівень шуму становить близько 80 дБ(А) для нового та модернізованого рухомого складу, що потребує подальшого удосконалення рухомого складу залізниць із метою зменшення шумового навантаження на оточуюче середовище.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						20
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА ВИМОГАМИ CNOSSOS-EU ТА ВИМОГАМИ ДИРЕКТИВИ 2002/49/ЕС

2.1. Методика оцінки та прогнозування шумового навантаження CNOSSOS-EU

У працях [19–21] зазначено, що значний внесок у загальне шумове навантаження спричиняє залізничний транспорт. У всьому світі використовуються різні методи оцінки шумового навантаження [22–26]. У Словаччині та Чехії використовується метод Schall 03 [27] і MPVND. На німецьких залізницях використовується метод Schall 03 2006 [27]. Ці методи використовуються для прогнозування залізничного шуму та створення карт розповсюдження шуму.

Згідно із методикою [27] еквівалентний звуковий тиск, рівень A , називається рівнем умовного навантаження $L_{m,E}$ і визначається на перпендикулярній відстані 25 м від осі залізничної колії на висоті 4 м над місцевістю. Рівень $L_{m,E}$ визначаються за рівнянням:

$$L_{m,E} = 10 \cdot \log \left[\sum 10^{(0,1(21+D_{Fz}+D_D+D_L+D_V))} \right] + D_{Tt} + D_{Br} + D_{Lc} + D_{Ra} \quad (2.1)$$

де D_{Fz} , D_D , D_L , D_V – поправки, що використовуються для конкретного поїзда; D_{Tt} , D_{Br} , D_{Lc} , D_{Ra} – поправки, що характеризують технічний стан та конструкцію залізничної колії.

Метод прогнозування шумового навантаження від залізничного транспорту MPVND, що наведений у працях [28, 29] використовується в Чехії з 1977 р. При цьому еквівалентний рівень звукового тиску A в дБ встановлюється для оцінюваного місця, розташованого на відстані 7,5 м від осі залізничної колії. Рівняння має вигляд:

$$Y = 10 \log X + 40 \quad (2.2)$$

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		21

Значення X (у дБ) розраховується за рівнянням:

$$X = 140 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot m \quad (2.3)$$

де F – коефіцієнти, що враховує середню кількість транспортних засобів.

2.2. Оцінка шуму від кочення коліс із врахуванням шорсткості поверхонь рейок і коліс рухомого складу

Внесок рухомого складу та колії в шум кочення розділені на чотири основні частини: шорсткість коліс, шорсткість рейок, передавальна функція на колеса та технічний стан колії. Шорсткість колеса та рейки представляє причину збудження вібрації в точці контакту між рейкою та колесом, і функції передачі є двома емпіричними або змодельованими функціями, які викликають механічну вібрацію та генерацію звуку на поверхнях колеса, рейки, шпали та нижньої будови колії.

Шум від кочення коліс, в основному, створюється шорсткістю рейки та колеса в діапазоні довжин хвиль від 5 до 500 мм. Рівень шуму L_r у залежності від шорсткості рейки визначається за формулою:

$$L_r = 10 \cdot \lg \left(\frac{r}{r_0} \right)^2, \text{ dB} \quad (2.4)$$

де $r_0 = 1$ мкм; r – середньоквадратичне значення (MS) шорсткості поверхні рейки або колеса в напрямку руху, виміряний у мкм на певній довжині рейки або на всій довжині діаметра колеса.

Рівень шорсткості L_r зазвичай отримують як спектр хвильового числа λ , і це є частотним спектром $f = v/\lambda$. де λ – довжина хвилі в м, а v – швидкість поїзда в м/с.

Рівень шорсткості рейки для i -го діапазону хвильових чисел визначається як $L_{r,TR,i}$. За аналогією, рівень шорсткості колеса для i -го діапазону хвильових чисел визначається як $L_{r,VEH,i}$. Загальний і ефективний рівень шорсткості для діапазону хвильових чисел i ($L_{r,TOT,i}$) визначається як сума енергій рівнів шорсткості рейки та колеса плюс контактний фільтр $A_{3(i)}$.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						22
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розглянемо фільтруючий ефект плями контакту між рейкою та колесом, що дорівнює (дБ):

$$L_{R,TOT,i} = 10 * \log(10^{L_{r,TR/10}} + 10^{L_{r,VEH,i/10}}) + A_{3,i} \quad (2.5)$$

де $A_{3,i}$ — контактний фільтр, виражений як функція i -го діапазону хвильових чисел, що відповідає довжині хвилі λ . Контактний фільтр залежить від типу рейки і колеса та навантаження.

У спрощеній версії методики CNOSSOS-EU рекомендується розглядати один робочий стан (постійна швидкість) при мінімальній швидкості – 70 км/год.

2.3. Оцінка шуму від удару колеса при проїзді стиків та хрестовин стрілочних переводів

Ударний шум може бути спричинений перехрестями, стрілочними переводами та рейковими з'єднаннями або стиками. Слід зазначити, що такий шум може бути вищим від шуму кочення коліс рухомого складу. Оскільки він локалізований. При оцінці такого шуму потрібно до шуму від кочення коліс рухомого складу додати ще шум від удару коліс $L_{R,TOT+IMPACT}$. У результаті формула для розрахунку шумового навантаження набуває вигляду:

$$L_{R,TOT+IMPACT} = 10 * \lg(10^{L_{R,TOT/10}} + 10^{L_{R,IMPACT/10}}), \text{ dB} \quad (2.6)$$

де $L_{R,IMPACT,i}$ — спектр смуги третьої октави (як функція частоти). Щоб отримати цю частоту спектру, спектр надається як функція довжини хвилі λ і має бути перетворена на необхідний спектр як функція частоти за допомогою співвідношення $\lambda = v_{ts}/f$, де f — частота, Гц, а v_{ts} — швидкість t -го типу транспорту, м/с.

Ударний шум залежить від інтенсивності та кількості ударів на одиницю довжини або щільності з'єднання n_i , отже, якщо надано кілька ударів, рівень шорсткості удару, який буде використовуватися в рівнянні (2.6) розраховується за формулою:

$$L_{R,IMPACT} = L_{R,IMPACT-SINGLE} + 10 * \lg\left(\frac{n_i}{0.01}\right), \text{ dB} \quad (2.7)$$

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		23

де $L_{R,IMPACT-SINGLE,i}$ – рівень шорсткості удару, n_i – щільність з’єднання, що дорівнює одному удару на 100 м довжини колії.

За методикою CNOSSOS-EU рекомендується n_i приймати рівним 0,01.

2.4. Аналіз вимог Директиви 2002/49/ЕС, щодо оцінки шумового навантаження

Директива 2002/49/ЕС [31], щодо оцінки шумового навантаження на навколишнє середовище має основну мету: моніторинг екологічної проблеми при дії шумового навантаження; інформування та консультування громадськості щодо впливу шуму, розробка заходів щодо усунення шуму відповідно до принципів ЄЕК ООН; вирішення проблем місцевого шуму шляхом звернення до компетентних органів щодо розробки заходів зменшення шумового навантаження там, де це необхідно; розробка довгострокової стратегії ЄС, яка включає цілі щодо зменшення кількості людей, які постраждали від шуму в довгостроковій перспективі, і забезпечує основу для розробки існуючої політики Співтовариства щодо зменшення шуму різних джерел.

Відповідно до Директиви 2002/49/ЕС Держави-члени повинні скласти «стратегічні карти шуму» для основних автомобільних доріг, залізниць, аеропортів та агломераціях, використовуючи гармонізовані показники шуму L_{DEN} (день-вечір-ніч, еквівалентний рівень шуму) і L_{NIGHT} (нічний еквівалентний рівень). Ці карти використовуються для оцінки кількості людей, які роздратовані та мають порушення сну у Європі.

При цьому Директива 2002/49/ЕС не встановлює жодних граничних значень і не визначає заходи, які будуть використані в планах дій, які залишаються на розсуд компетентних органів влади.

2.5. Плани заходів щодо зменшення шуму. Статус імплементації Директиви 2002/49/ЕС

Директива імплементована в усіх державах-членах з жовтня 2007 року відповідно до [32].

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		24

Кілька досліджень UIC [33] і CER разом з UIC [34] і додаткові опитування авторів ведуть до розгляду існуючого зниження рівня шуму в державах-членах, а також в інших європейських країнах.

Для зменшення шумового навантаження у країнах ЄС до кінця 2005 р. було побудовано 1000 км шумових бар'єрів і близько 60 000 будівель із шумозахисними вікнами. Виконані заходи призвели до захисту від шуму близько 1 250 000 громадян. При цьому заходи включали щорічні інвестиції 150–200 млн євро, а приблизні витрати на інфраструктурні проєкти оцінюються в 10 мільярдів євро.

Більшість національних заходів та інвестицій, поки що, зосереджені на інфраструктурі: шумові бар'єри, модифікатори амортизації рейок і зменшення сил тертя. Багато країн розробляють проєкти, які сконцентровані на зниження шуму шляхом розробки амортизаторів коліс або композитних гальмівних колодок. Про це свідчать інтерв'ю, проведені з представниками залізничної галузі з DB та ÖBB [35–36]. Положення про зменшення рівня шуму мають бути єдиними в Європі, щоб збільшити стимули для вагонів власників і операторів модернізувати старий рухомий склад і мінімізувати різницю між залізничними транспортними компаніями.

2.6. Вимоги TSI до оцінки шумового навантаження

TSI (Технічні специфікації інтероперабельності) є основою для всіх підсистем (інфраструктури, енергетики, управління та сигналізації, експлуатації та управління рухом поїздів, рухомого складу та технічного обслуговування).

Розробка TSI введена в Директиві 2008/57/ЄС. Європейське залізничне агентство (ERA) відповідає за координацію розвитку TSI. Для цього ERA організовує робочі групи для різних підсистем, які складаються із експертів та органів влади.

Усі TSI є безпосередньо дійсними для кожної держави-члена для новостворених або модифікованих підсистем. Загальні винятки можливі лише

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		25

для систем метрополітену, трамваю та регіональних залізниць; інфраструктури/мережі, які відокремлені від залізничної мережі та використовуються лише місцевий та міський транспорт; приватна залізнична інфраструктура та транспортні засоби, які використовуються лише приватній інфраструктурі, для вантажних перевезень; інфраструктура та транспортні засоби, які призначені лише для місцевого використання або для історичного та туристичного використання.

Документ TSI Шум № 2011/229/ЄС (опублікований 4 квітня 2011 р.) визначає максимальний рівень шуму від транспортних засобів. Рівні для рухомого складу залізниць закладено у [16], що замінив [37]. Максимальні рівні шуму визначені для стаціонарного рухомого складу при проїзді на визначених базових рейкових коліях і на визначеній швидкості.

Шум при проїзді рухомого складу залізниць визначається на відстані 7,5 м від осі колії та 1,2 метра над верхом головки рейки.

Нормативні значення шумового навантаження від високошвидкісних поїздів наведено у [38].

2.7. Вимірювання та обчислення шумового навантаження від залізниць

У Директиві ЄС 2002/49/ЄС [69] наведено формулу для розрахунку рівня шуму за 24 год. день-вечір-ніч (на основі виміряних рівнів шуму):

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad (2.7)$$

де: L_{day} – це А-зважений довгостроковий середній рівень звуку, як визначено в [39], що визначається за всі періоди доби року; $L_{evening}$ – це А-зважений довгостроковий середній рівень звуку, як визначено в [39], визначений за всі вечірні періоди року; L_{night} – це А-зважений довгостроковий середній рівень звуку, як визначено в [39], визначені за всі нічні періоди року; L_{den} – середній рівень шуму за 24 години (день, вечір і ніч) при цьому: день триває 12 годин, вечір чотири години і ніч вісім годин.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		26

Члени-Держави можуть скоротити вечірній період на одну-дві години та подовжити денний та/або нічний період відповідно, за умови, що цей вибір однаковий для всіх джерел і що вони надають Комісії інформацію про будь-які систематичні відмінності від параметра за замовчуванням.

Початок дня (і, початок вечора та початок ночі) вибирається державою-членом, стандартні значення: з 07.00 до 19.00, з 19.00 до 23.00 і 23.00 до 07.00 за місцевим часом.

Директива 2009/49/ЕС визначає у своєму Додатку II методи, які мають використовуватися, якщо держави-члени не мають власного законодавчого методу обчислення шумового навантаження, який адаптований до Додатку I Директиви. Для обчислення шуму від дії залізничного транспорту використовується метод розрахунку Нідерландів [40].

Розрахункова схема враховує дев'ять категорій поїздів, де вказано рівні шуму при проїзді поїздів. Разом із загальною кількістю поїздів одного типу можна розрахувати середні значення еквівалентного рівня шуму L_{DEN} і L_{NIGHT} .

У Німеччині використовується метод розрахунку [41] «Метод попереднього розрахунку шуму на залізницях» (Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen [41]). За цим методом виконують картографування шуму.

Слід зазначити, що всі розрахункові схеми є складними, оскільки шумове навантаження залежить від типу рухомого складу, конструкції залізничної колії. Тому вплив факторів на шумове навантаження відображається за допомогою логарифмічної функції.

Висновки до розділу 2

У результаті проведеного аналізу методів оцінки шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту, можна зробити такі висновки:

1. Найвищим джерелом шуму є шум від кочення коліс рухомого складу, це стосується як вантажних, так і пасажирських поїздів.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		27

2. Для прогнозування шумового навантаження від рухомого складу залізниць у країнах Європейського Союзу використовуються такі методи: Schall 03, MPVHD та CNOSSOS-EU.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						28
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ ВІДПОВІДНО ДО МЕТОДИКИ CNOSSOS-EU

3.1. Загальні положення вимірювання шумового навантаження від рухомого складу

Вимірювання шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту виконувалось відповідно до методики CNOSSOS-EU. Вимірювання проводилось за допомогою цифрового шумоміру Sound Level Meter 1.0.0.20 (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Шумомір Sound Level Meter 1.0.0.20

У процесі вимірювань отримували значення шумового навантаження у залежності від типу рухомого складу та швидкості руху.

3.2. Методика проведення вимірювань шумового навантаження при проїзді рухомого складу залізниці

Для проведення вимірювань вибрано ділянку залізничної колії, що наведена на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Ділянка залізничної колії для виконання вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Вимірювання проводилось на відстані 35 м від осі залізничної колії на висоті 1,2 м від рівня баластної призми, перпендикулярно до осі залізничної колії. Схема процесу вимірювання шумового навантаження наведена на рис. 3.3.

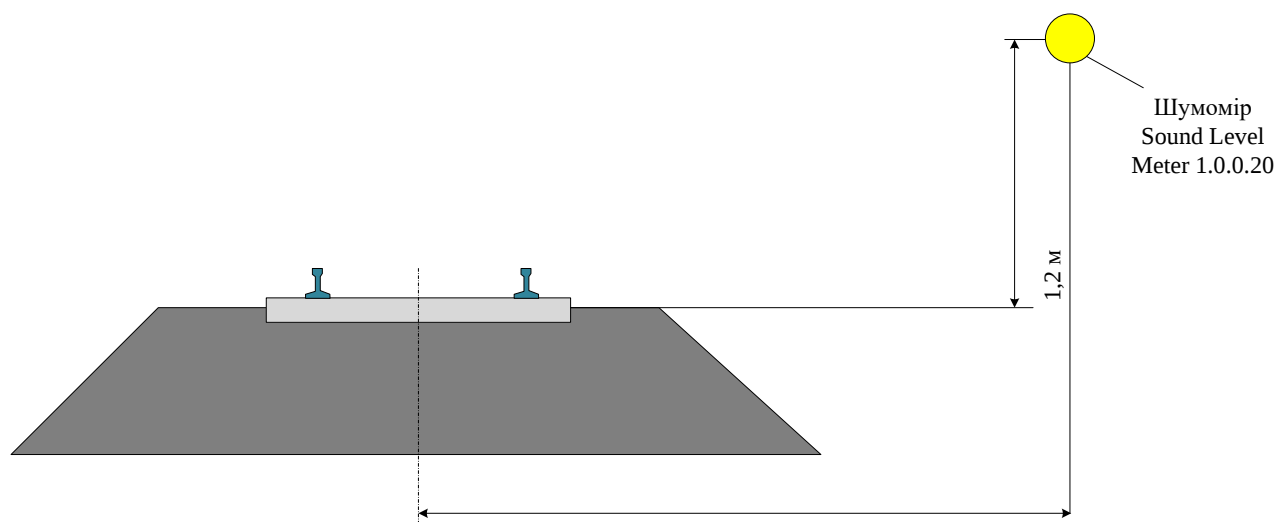


Рисунок 3.3 – Схема проведення вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Процес проведення вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць наведено на рис. 3.4.

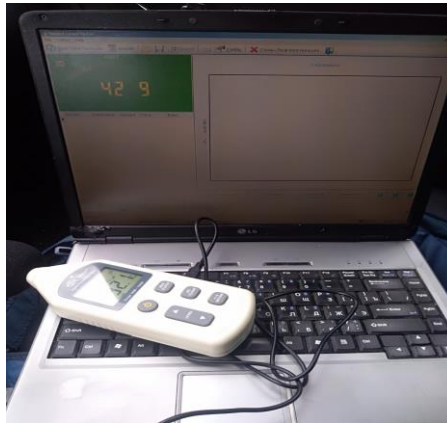


Рисунок 3.4 – Процес проведення вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

3.3. Програма експериментальних вимірювань шумового навантаження

Програма експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць наведена у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Програма експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

№п/п	Тип рухомого складу	Кількість проїздів
1	Вантажний поїзд	1
2	Маневровий локомотив ЧМЭ-3	1
3	Пасажирський поїзд	1
4	Вантажний поїзд	1

3.4. Результати експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Результати вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць наведено на рис. 3.5–3.8.

На рис. 3.5 наведено запис шумового навантаження при проїзді вантажного поїзду. Видно, що при проїзді вантажного поїзду спостерігаються ділянки шумового навантаження, які чітко показують проїзд тягового рухомого складу та

вантажних вагонів. У випадку проїзду тягового рухомого складу спостерігаються максимальні величини шумового навантаження. І так, від тягового рухомого складу, величина максимального рівня шуму досягла значення 74 дБ. Від вантажних вагонів, максимальна величина шумового навантаження коливається у межах 58–65 дБ.

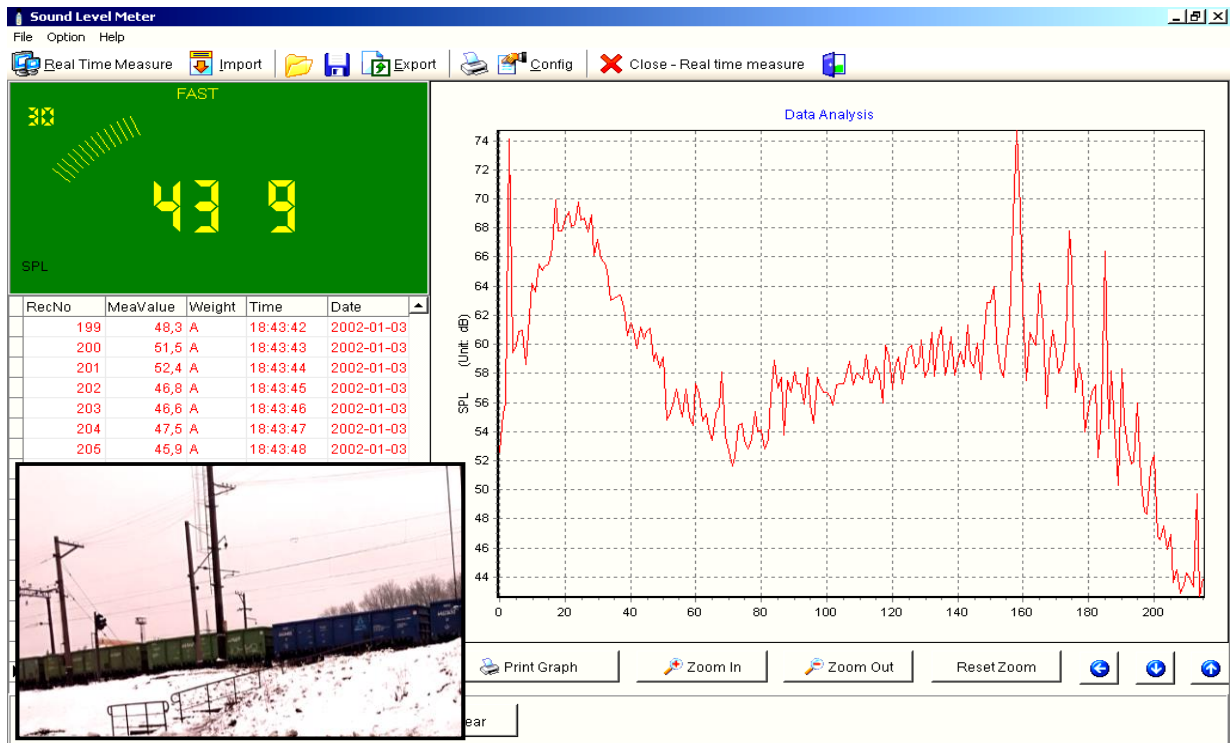


Рисунок 3.5 – Графік запису шумового навантаження при проїзді вантажного поїзду

Графік запису шумового навантаження при проїзді локомотиву ЧМЕЗ наведено на рис. 3.6.

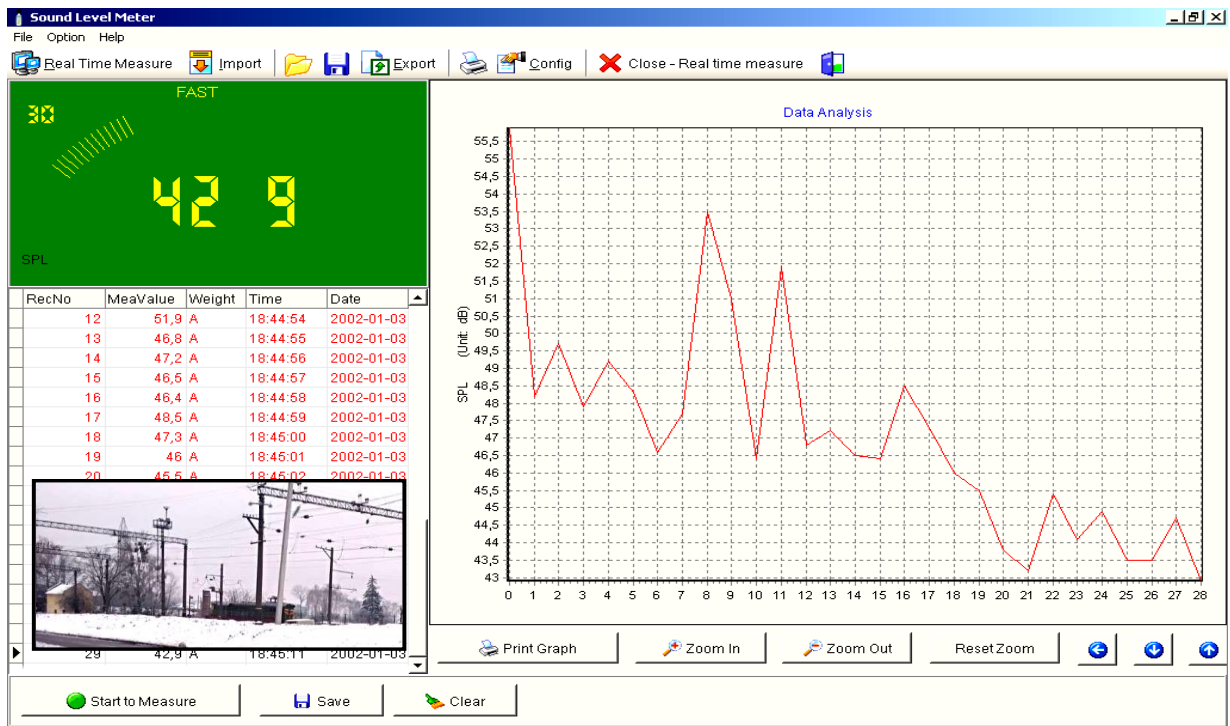


Рисунок 3.6 – Графік запису шумового навантаження при проїзді локомотиву ЧМЕЗ

При проїзді маневрового локомотиву ЧМЕЗ величина максимального рівня шуму досягла значення 56 дБ.

Графік запису шумового навантаження при проїзді пасажирського поїзду наведено на рис. 3.7.

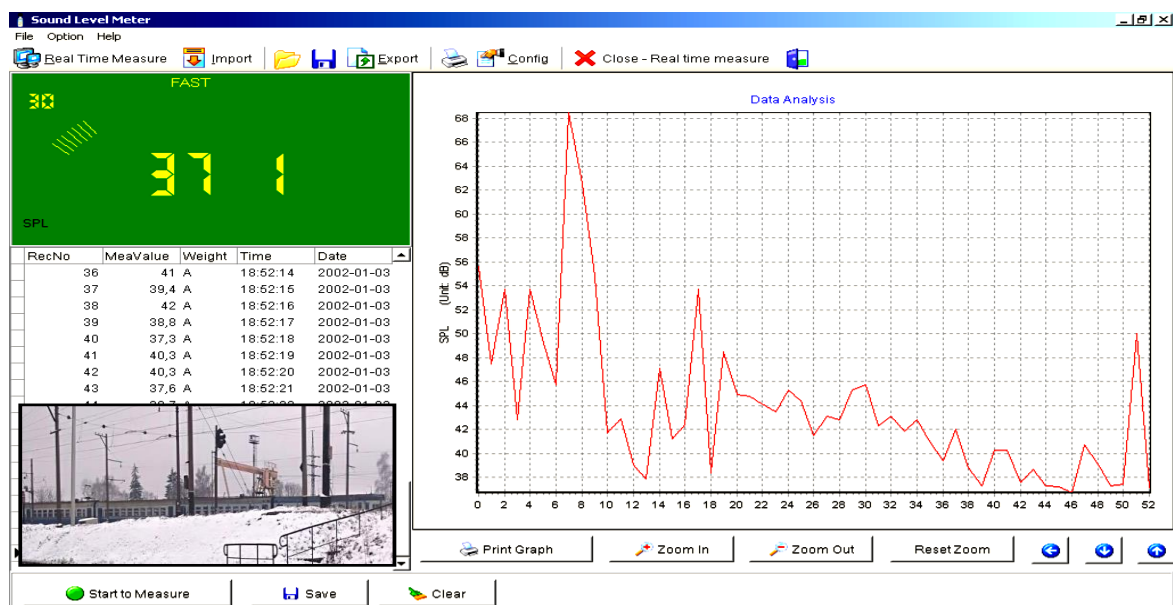


Рисунок 3.7 – Графік запису шумового навантаження при проїзді пасажирського поїзду

При проїзді пасажирського рухомого складу максимальна величина шумового навантаження склала 68 дБ.

Графік запису шумового навантаження при проїзді вантажного поїзду із тяговим рухомим складом ТЕ33А наведено на рис. 3.8. Із проведених досліджень шумового навантаження, при проїзді вантажного поїзду із локомотивом ТЕ33А встановлено, що величина шумового навантаження від локомотиву становить 74,5 дБ. При цьому величина шумового навантаження від вантажних вагонів (цистерн) склала 60–68 дБ.

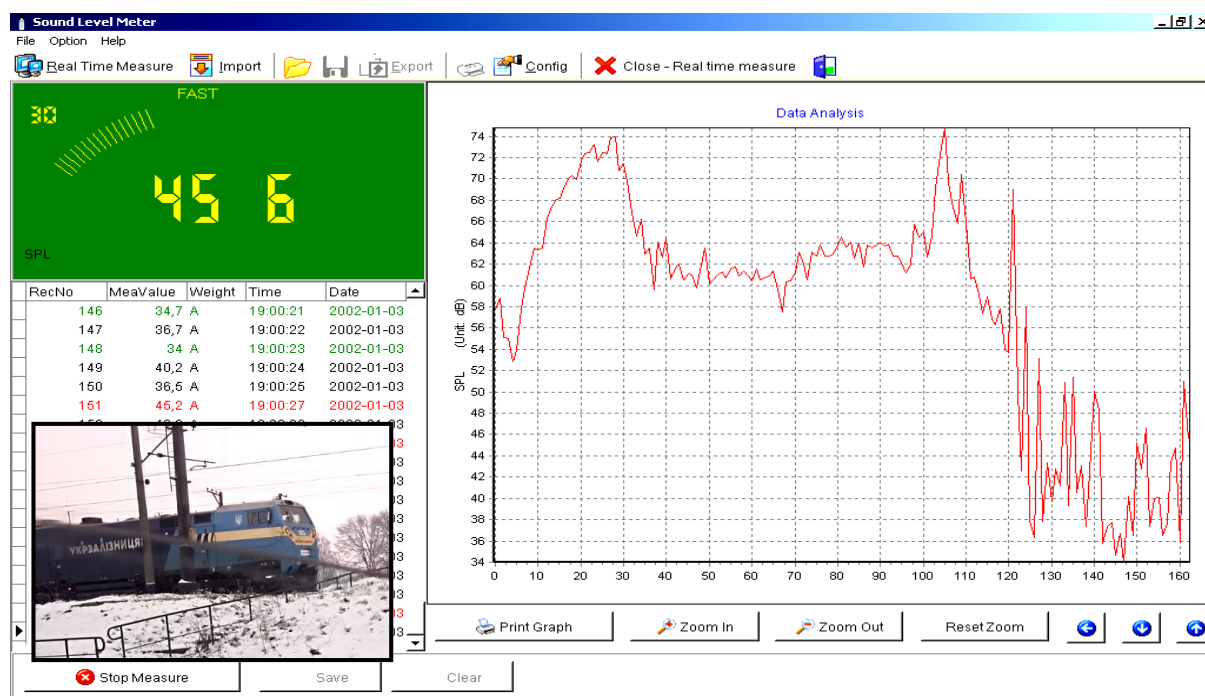


Рисунок 3.8 – Графік запису шумового навантаження при проїзді вантажного поїзду із локомотивом ТЕ33А

Із рис. 3.8 видно, що при проїзді вантажного поїзду спостерігається найвище значення шумового навантаження.

Зведені результати шумового навантаження, що виміряні при проїзді рухомих одиниць залізниці наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниці

№п/п	Тип рухомого складу	Максимальна величина еквівалентного шумового навантаження, дБ
------	---------------------	---

		Тяговий рухомий склад	Проміжні вагони
1	Вантажний поїзд	74	58-62
2	Маневровий локомотив ЧМЕЗ	56	-
3	Пасажирський поїзд	68	42-48
4	Вантажний поїзд	74,5	60-68

Із проведених досліджень встановлено, що при проїзді рухомого складу залізниць величини шумового навантаження, при відстані 35 м до житлової зони, перевищують нормативну величину 60 дБ.

Тому для захисту житлової зони від дії понаднормативного шумового навантаження необхідно розробити засоби захисту, для зменшення рівня шуму.

Висновки до розділу 3

У результаті проведених експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту отримано наступні висновки:

1. Встановлено, що величина шумового навантаження при проїзді рухомого складу залізниці залежить від швидкості рухомого складу та виду поїзду.

2. Результати досліджень шумового навантаження показали, що при проїзді вантажного поїзду на графіку запису шуму, спостерігаються ділянки шумового навантаження, які чітко показують проїзд тягового рухомого складу та вантажних вагонів. У випадку проїзду тягового рухомого складу спостерігаються максимальні величини шумового навантаження.

3. Встановлено, що величина максимального навантаження від тягового рухомого складу склала 74,5 дБ. При цьому величина шумового навантаження від вантажних вагонів склала 60–68 дБ.

4. Встановлено, що величина шумового навантаження при проїзді пасажирського рухомого складу є меншою у порівнянні із вантажним поїздом. Максимальна зафіксована величина шумового навантаження від пасажирського вагону склала 42–48 дБ, а від вантажного вагону 60–68 дБ.

5. Встановлено, що при проїзді рухомого складу залізниць величини шумового навантаження перевищують нормативну величину 60 дБ, при розташуванні житлової зони на відстані 35 м від осі найближчої колії.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						36
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

4.1. Аналіз методів зниження шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту

Одними із заходів зниження шумового навантаження від рухомого складу залізниць є удосконалення конструкції колії та рухомого складу. Ефективний захист від вібрації та шуму можна досягти методом застосування спеціально підібраних пластичних компонентів віброізоляційних матів [1].

Пластичні мати використовують, як високоефективну та довговічну захисну системи, оскільки знижують поширення шуму та вібрації, викликаних рухом поїздів, та забезпечують більш однорідні властивості верхньої будови колії.

На рис. 4.1 схематично наведено поперечний переріз будови залізничної колії із пластичними матами.

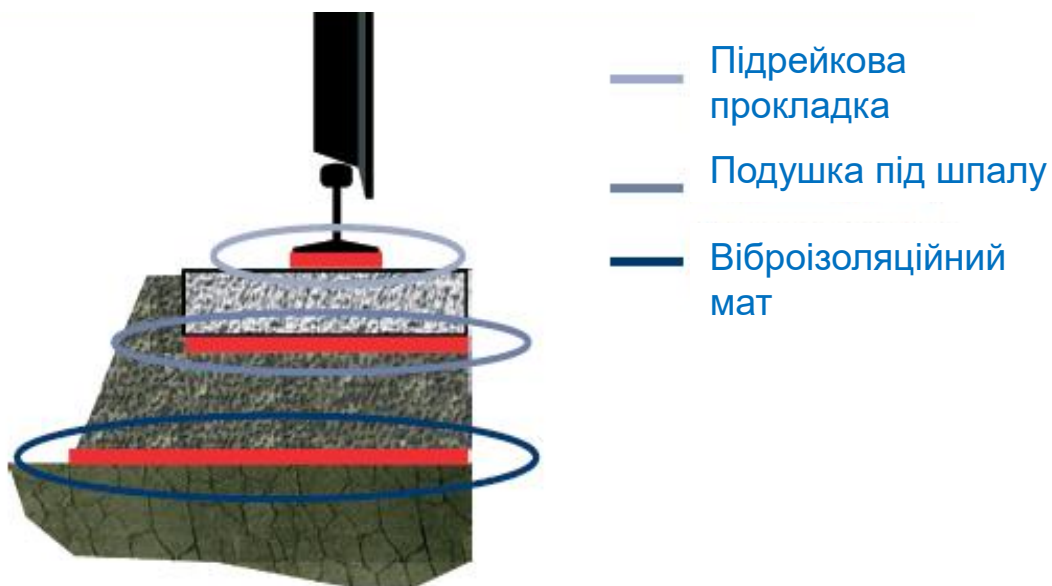


Рисунок 4.1 – Верхня будова колії із пластичними матами для зниження шуму та вібрації [1]

Результати досліджень, наведені на рис. 4.2, показали, що експлуатація колія із пластичними матами призводить до зниження шумового навантаження при проїзді рухомого складу залізничного транспорту до 10 дБ.

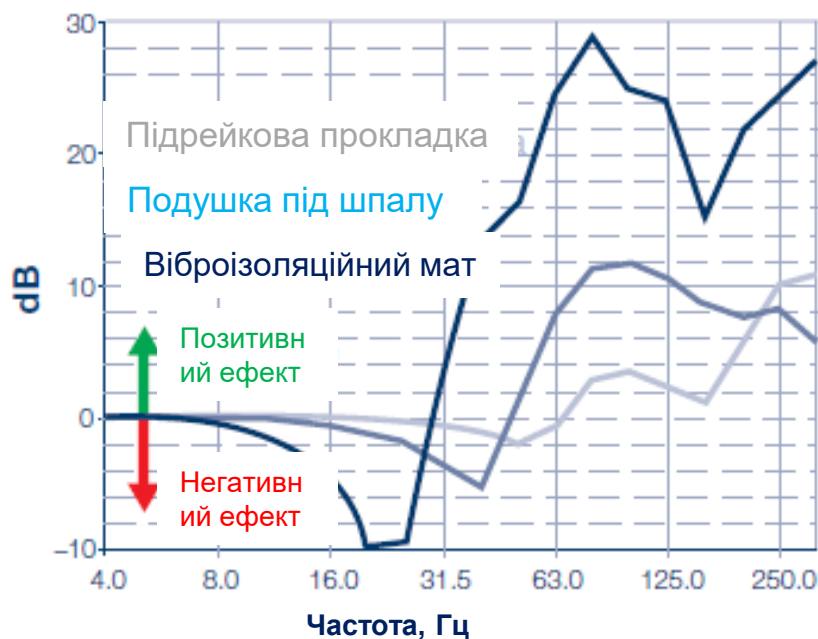


Рисунок 4.2 – Зниження рівня шуму у верхній будові колії за рахунок застосування пластичних матів [1]

Встановлено, що збільшення маси над пластичним шаром призводить до зниження власної частоти системи, що позитивно позначається на зниженні вібраційної та шумової дії від рухомого складу.

4.2. Шумозахисні екрани для зниження шумового навантаження

Для захисту прилеглих територій від дії шумового навантаження від рухомого складу залізниць використовуються шумозахисні екрани. Форма верхньої граничної поверхні акустичних екранів наведена на рис. 4.3. При цьому використовують наступні форми: без надбудови верхньої граничної поверхні екрану; з надбудовою верхньої граничної поверхні у вигляді односторонньої полиці (козирка), нахиленої убік залізничних колій; з надбудовою верхньої граничної поверхні у вигляді двосторонньої верхньої полиці (козирка) Т-

подібної форми; з надбудовою верхньої граничної поверхні у вигляді двосторонньої верхньої полиці (козирка) Y-подібної форми; у вигляді протяжної звукопоглинаючої конструкції.

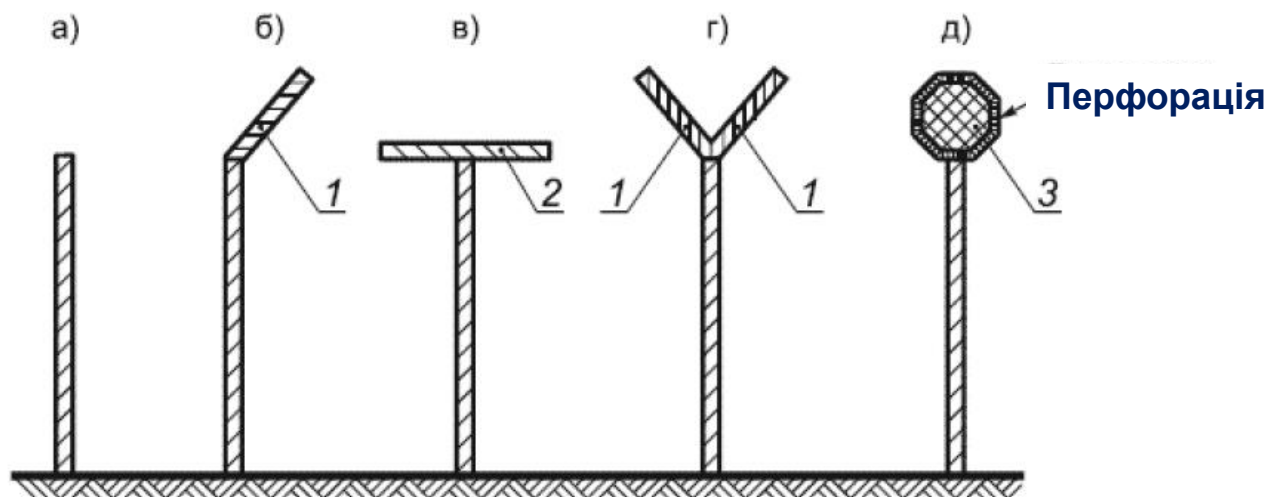


Рисунок 4.3 – Форма шумозахисних екранів: а – без надбудови верхньої граничної поверхні екрану; б – з надбудовою верхньої граничної поверхні у вигляді односторонньої полиці (козирка), нахиленої убік залізничних колій; в – з надбудовою верхньої граничної поверхні у вигляді двосторонньої верхньої полиці (козирка) Т-подібної форми; г – з надбудовою верхньої граничної поверхні у вигляді двосторонньої верхньої полиці (козирка) Y-подібної форми; д – у вигляді протяжної звукопоглинаючої конструкції: 1 – козирок; 2 – полиця; 3 – протяжна звукопоглинаюча конструкція

4.3. Вимоги до екранів для забезпечення акустичної ефективності

Потрібну ефективність шумозахисних екранів досягають за рахунок наступного:

- правильного вибору основних параметрів шумозахисного екрану, а саме: висоти, довжини, конструктивного рішення верхньої частини (рис. 4.3);
- використання у панелях екрану звукопоглинаючих матеріалів;

- раціонального розташування шумозахисного екрану відносно залізничних колій з метою захисту від шумових навантажень прилеглих територій при дії рухомого складу залізниць.

Для вибору висоти шумозахисного екрану потрібно враховувати висоту об'єктів захисту та їх розташування відносно залізничної колії. При цьому ефективність та можливість установки екранів на насипу колії повинні бути підтверджені відповідними акустичними та міцнісними розрахунками.

На рис. 4.4 наведено схему розташування шумозахисного екрану. При цьому довжину екрану потрібно проектувати у 4,5 рази більшою за відстань від екрану до прилеглої території.

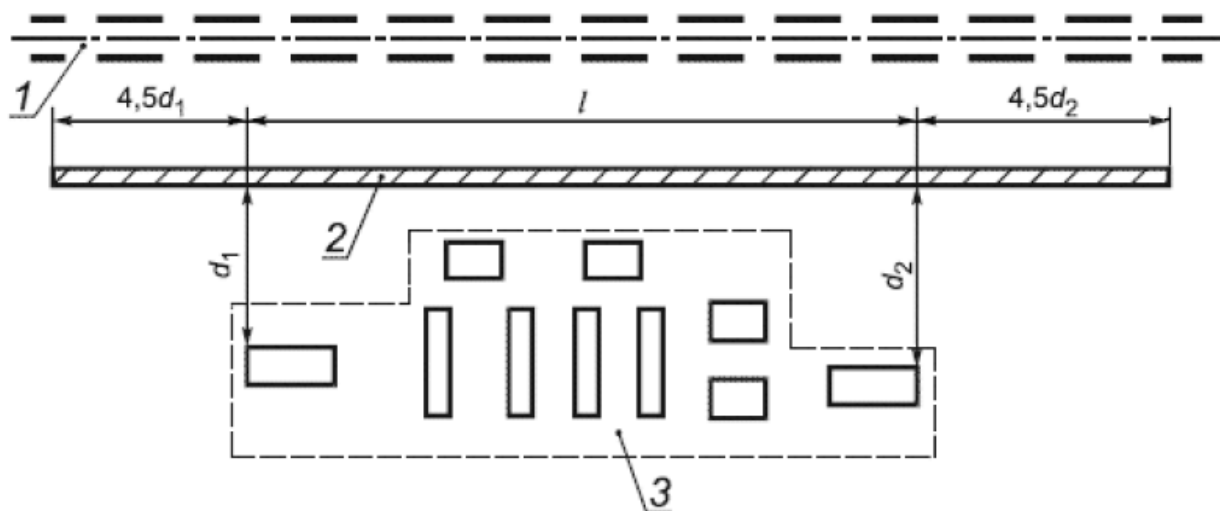


Рисунок 4.4 – Схема до розрахунку довжини шумозахисного екрану:
1 – залізнична колія; 2 – шумозахисний екран; 3 – прилегла територія (об'єкт)

Загальну довжину шумозахисного екрану визначають за формулою:

$$l_{\text{екр}} = 4,5d_1 + l + 4,5d_2 \quad (4.1)$$

де l – відстані, що вимірюється від крайніх об'єктів, які захищаються до шумозахисного екрану, м; d – відстань від об'єкту до шумозахисного екрану, що вимірюється у перпендикулярному напрямі.

У випадку неможливості забезпечення необхідної довжини шумозахисного екрану необхідно проектувати екран максимальної можливої величини, а потім

проектувати додаткові акустичні бічні екрани. Схема до проектування бокових екранів наведена на рис. 4.5.

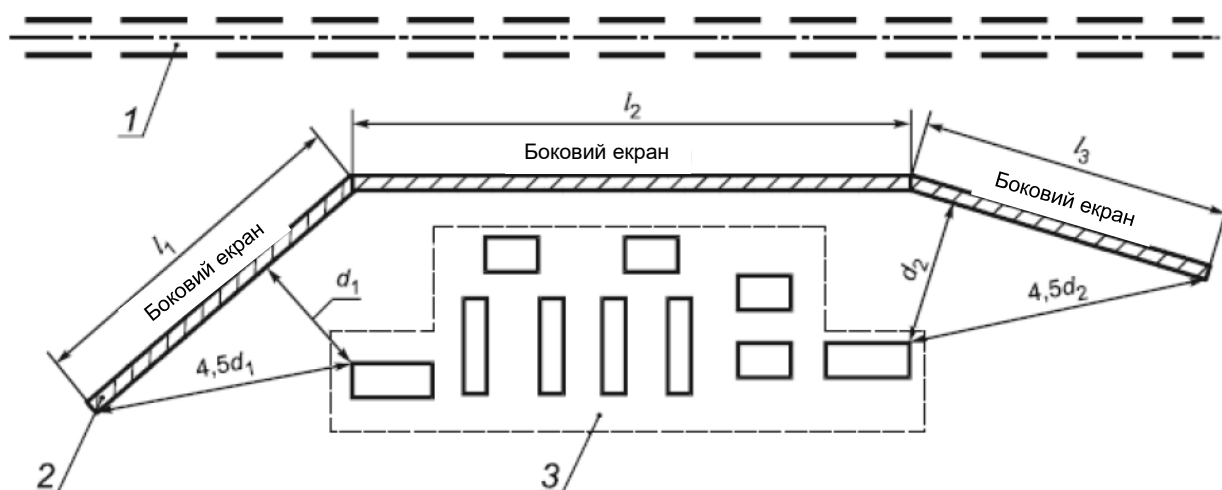


Рисунок 4.5 – Схема до проектування довжини бокових екранів:
1 – залізнична колія; 2 – шумозахисний екран; 3 – об'єкт, що захищається

При проектуванні бокових шумозахисних екранів їх потрібно встановлювати впритул до основного акустичного екрану, у сторону забудови, для захисту від дії шумових потоків рухомого складу залізниці.

При підборі шумозахисних екранів потрібно користуватися вимогою, що забезпечення звукоізоляції повинно бути не менше ніж на 10 дБ вище за потрібну акустичну ефективність шумозахисного екрану.

Величини коефіцієнта звукопоглинання панелей шумозахисних екранів повинні бути не нижчими за значення, що наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Контрольні величини коефіцієнта звукопоглинання панелей шумозахисного екрану

Найменування показника	Середньгеометричні значення частот, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Контрольні	0,3	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5

коефіцієнти							
звукопоглинання							

Слід зазначити, що у конструкціях шумозахисних екранів повинні бути виключені щілини. Крім цього не допускаються щілини між низом панелей екрану і поверхнею землі.

Зниження рівня шумового навантаження на житлові будівлі, встановлюється у залежності від типу місцевості та закладаються у проєкті при виконанні оцінки впливу на навколишнє середовище.

4.4. Вимоги до розміщення шумозахисних екранів біля залізничної колії

Шумозахисні екрани слід влаштовувати вздовж залізничної колії у смузі відводу. При цьому екрани мають бути за межами габаритів наближення будівель і рухомого складу залізниць.

Шумозахисні екрани не повинні впливати на видимість світлофорів та інших сигнальних пристроїв залізничної колії.

Акустичний екран встановлюють таким чином, щоб опори контактної мережі та засоби сигналізації та зв'язку (релейні шафи, системи автоматики, телемеханіки тощо) знаходилися між залізничними коліями та шумозахисним екраном.

Також при проєктуванні шумозахисних екранів враховують розташування водовідвідних споруд, які знаходяться у зоні розташування екранів. Екрани та їх фундаменти не повинні порушувати систему стоку поверхневих та ґрунтових вод від залізничних колій.

Забороняється виконання отворів у нижній частині екрану для водовідведення із залізничних колій. Воду від залізничних колій необхідно відводити через водовідвідні споруди.

Рекомендована схеми водовідведення наведена на рис. 4.6.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		42

Для забезпечення видимості на переїздах та у кривих ділянках залізничної колії, а також для забезпечення вільного огляду конструкцій шумозахисного екрану слід передбачати встановлення світлопрозорих панелей на висоту не менше 1,5 м над головою рейки.

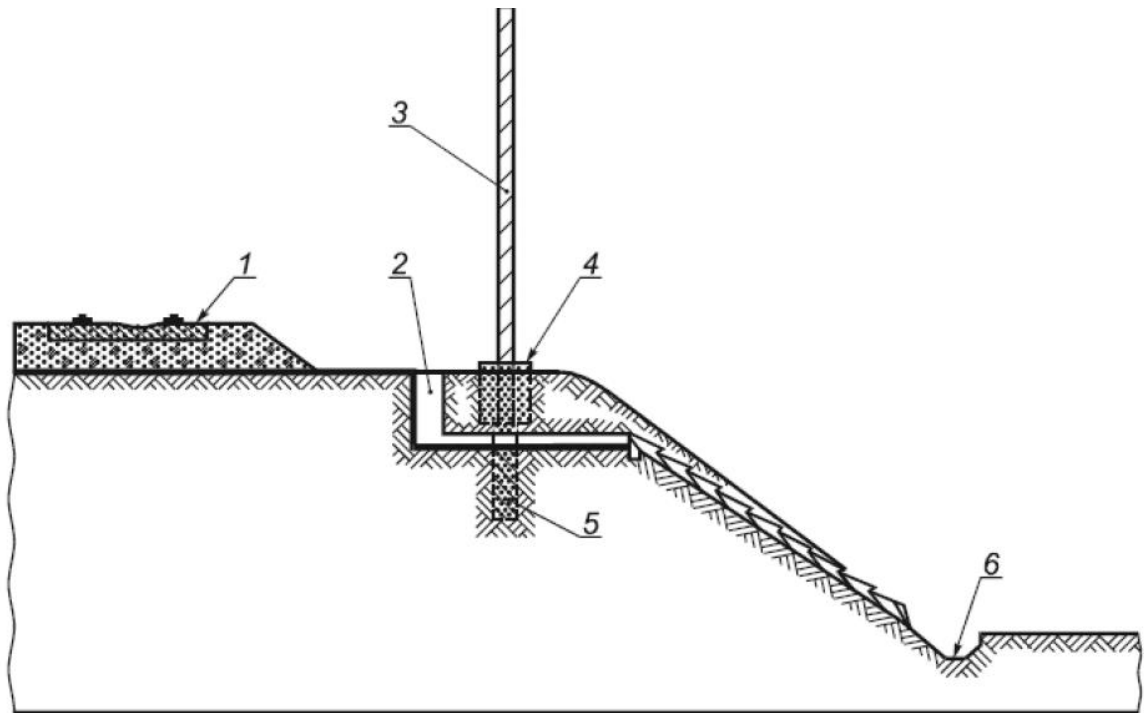


Рисунок 4.6 – Рекомендована схема водовідведення від залізничної колії:
1 – залізнична колія; 2 – водостік; 3 – шумозахисний екран; 4 – бетонна основа;
5 – паля для закріплення фундаменту; 6 – лоток для відведення води

При цьому граничні допуски при монтажі шумозахисних екранів, біля залізничної колії, повинні бути:

- ± 10 мм – це допуск на відстань між опорами;
- ± 10 мм – це допуск на висоту стійок.

При монтажі акустичного екрану його нижні панелі неприпустимо розташовувати на анкерних кріпленнях опор.

На двоколійних і багатоколійних ділянках акустичні екрани розміщують збоку крайніх колій. Акустичні екрани, що встановлюються по обидва боки залізничних колій навпроти один одного, повинні мати відбиваючо-поглинаючі

елементи для усунення взаємних відображень звуку та запобігання зниженню акустичної ефективності екрану.

Для запобігання зниженню акустичної ефективності шумозахисних екранів у місцях проходів слід встановлювати звукоізолюючі двері або – контрекрани.

4.5. Заходи щодо зниження шуму від рухомого складу залізниць

4.5.1. Зниження шуму від коліс, який спричинений шорсткістю поверхонь кочення і гальмуванням

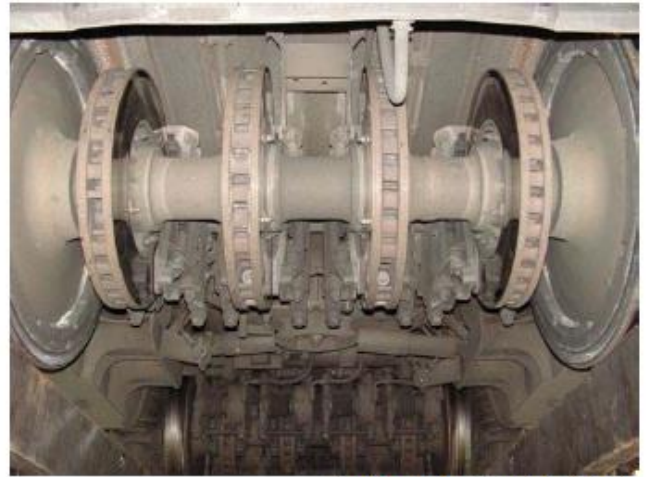
Основним, неминучим джерелом шуму є шорсткість коліс і рейок. Нерівності на рейках, можуть збільшити інтенсивність вібрації ґрунту та рівень шуму на 20 дБ [42]. Крім цього зноси коліс та дефекти рейок призводять до підвищення шумового навантаження від рухомого складу.

Для зменшення шумового навантаження одним із заходів є проведення шліфування рейок і обточки коліс. У працях [43], [44] встановлено, що шліфування може знизити рівень шуму коліс приблизно на 3 дБ. При цьому дослідженнями [45] встановлено, що шліфування рейок знижує рівень шуму на 10–12 дБ, а за допомогою виконання спеціального профілактичного шліфування, можна досягти подальшого зниження шуму на 3–4 дБ.

У звіті [42] зазначено, що підтримка залізничної колії у технічно справному стані призводить до зменшення шуму на 10 дБ, а профілактичне шліфування – ще 1–3 дБ.

Чавунні колодки, які дуже поширені в європейських вантажних вагонах, мають тенденцію до прижиму до колеса, що значно підвищує рівень шумового навантаження [44]. При цьому дискові гальма, які встановлюються на легкових автомобілях, приблизно на 8 дБ є тихішими за чавунні колеса [46]. Конструкції гальм показані на рис. 4.7.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						44
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Source: Hemsworth 2006.

Рисунок 4.7 – Конструкції колодкових і дискових гальм на рухомому складі залізниць

Слід зазначити, що дискові гальма є дуже дорогими і можуть бути запроваджені лише із новими вантажними вагонами, або при переоснащенні існуючих вагонів. Однак, це вимагає міняти весь візок, що є дорогим рішенням. [47], [46], [44].

Ця проблема поклала початок розробки композитних гальмівних колодок. Оскільки характеристики по тертю є подібними до чавунних гальмівних колодок, але шум є нижчим. У результаті було розроблено гальмівні колодки «LL-блоками». «К-блоки», які використовуються у нових конструкціях транспортних засобів.

У праці [45] встановлено, що прототип LL-блоків, знижує шум на 8 дБ порівняно з чавунними гальмівними колодками.

4.5.2. Зниження шуму за рахунок удосконалення коліс рухомого складу

У проєкті ЄС Silent Freight (1996-1999) розглядається можливість зниження рівня шуму від коліс за допомогою застосування кільцевих демпферів, які знижують шум на 6 дБ [48], [46], [44]. Також дослідженнями встановлено, що виконання перфорації колеса є неефективно.

У випадку наявності на колесі амортизаторів рівень шуму знижується до 7 дБ, а при наявності щитків на колесах рівень шуму знижують до 9 дБ.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		45

Приклади удосконалення ходових частин рухомого складу для зниження шумового навантаження наведено на рис. 4.8-4.10.



Рисунок 4.8 – Кільцеве амортизоване та перфороване колесо рухомого складу



Рисунок 4.9 – Амортизатори на колесах рухомого складу



Source: Hemsworth 2006.

Рисунок 4.10 – Колісні щити на рухомому складу

Подальше зниження шуму може бути досягнуто за допомогою кожуха на візку [46].

Слід зазначити, що удосконалення конструкції колеса, з метою зменшення шумового навантаження, необхідно робити із врахуванням розсіювання тепла, що утворюється під час гальмування рухомого складу.

Проект RONA, передбачає оптимізацію коліс для високошвидкісних ліній. Для цього запропоновано нову конструкцію колеса JR13, яка дозволила знизити рівень шуму на 3 дБ та конструкцію колеса Alu4 з товстою алюмінієвою стінкою та амортизатори коліс із прогнозованим зниженням шуму на 12 дБ.

4.5.3. Зниження шуму за рахунок удосконалення елементів конструкцій залізничної колії

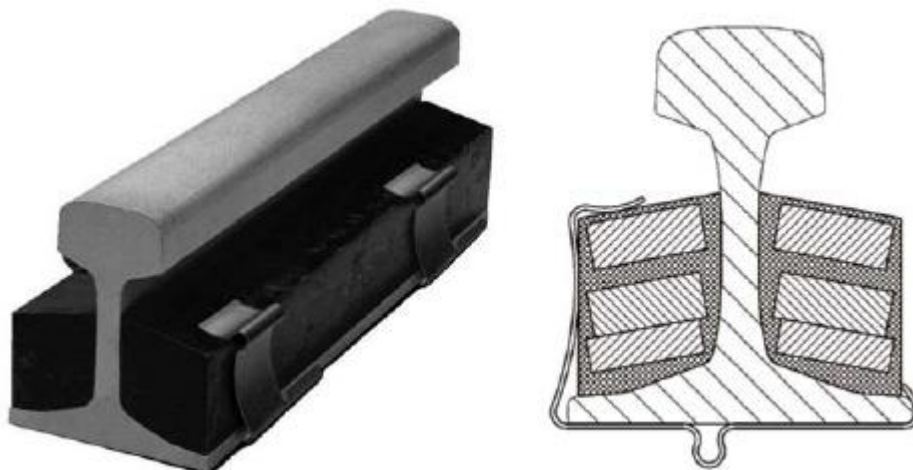
У проєктах SNCF, VONA запропоновано мал шумні конструкції колій для високошвидкісних ліній [44]. Проєкт EC Silent Track (1997-2000) розробив рейкові демпфери, які дозволяють зменшити шум на 6 дБ [47], [46], [44].

Подальші випробування рейкових демпферів, що представлені у роботі [49] дозволили розробити систему Tata Steel на рейках «SilentTrack» (рис. 4.11), яка

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						47
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

забезпечує зниження шуму на 3-7 дБ. Гума, яка встановлена із обох боків металевої рейки знижує шум.

У Нідерландах, Німеччині та Великобританії на протяжності близько 200 км експлуатується система SilentTrack.



Source: Tata Steel; images from product brochure.

Рисунок 4.11 – Вигляд амортизаторів Tata Steel (SilentTrack) для зменшення шумового навантаження

У працях [46], [44] встановлено, що колійні загородження також можна використовувати для зниження рівня шуму, проте у роботі [49] сказано, що при використанні рейкових демпферів бар'єри та екрани можуть не використовуватися.

Проект VONA розробив оптимізовані рейкові скріплення, які дозволяють знизити рівень шуму на 3–4 дБ [44]. Рейкові скріплення також були удосконалені в проекті Silent Track, що знижують рівень шуму на 2 дБ.

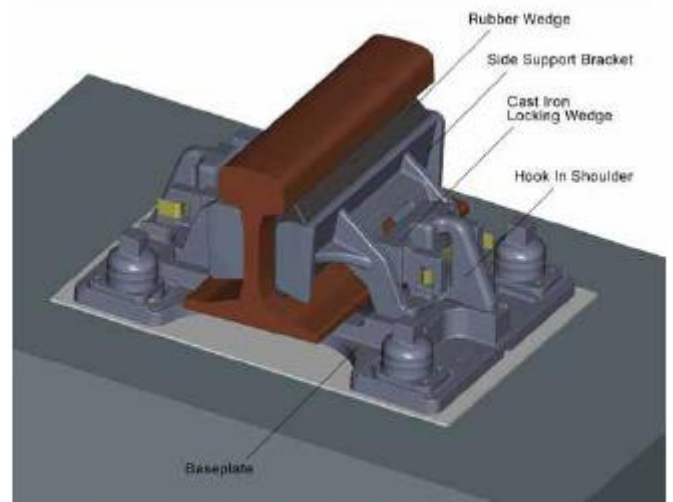
Конструкції Saargummi та CDM пропонується ряд пружних рейкових скріплень, призначених для поглинання шуму та вібрація; CDM і Getzner Werkstoffe пропонують підкладки під шпали, баластні килими та ряд рішень для плитних колій і вбудованих рейкових систем [45] (рис. 4.12).

Конструкція Pandrol VANGUARD використовує пружну прокладку для послаблення шуму, що призводить до зменшення середнього рівня шуму на 7,3 дБ в діапазоні 20 Гц–50 Гц і на 13 дБ в діапазоні 40 Гц–80 Гц. Ці випробування

показали, що використання конструкції VANGUARD на ізольованій плитній колії (IST), що має гумовий баластний килимок, є легше його встановити, ніж плитну основу.



Source: Licitra 2006



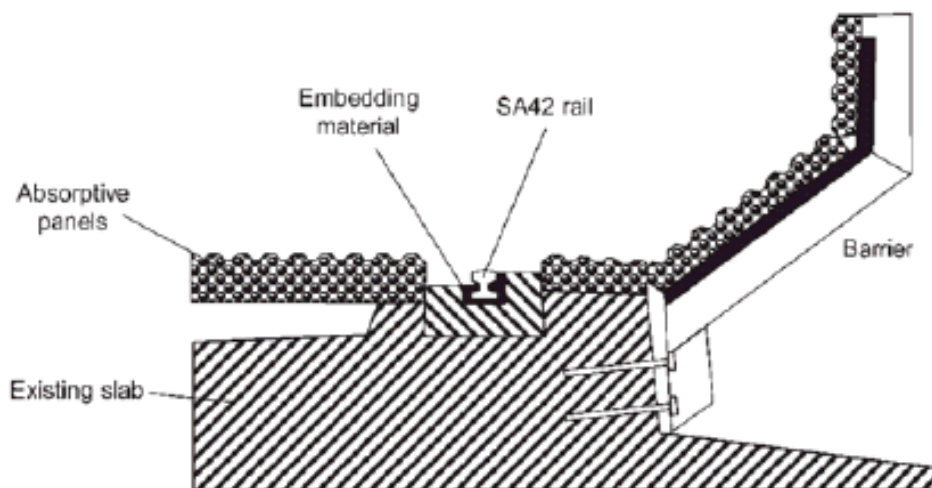
Source: Pandrol Vanguard; product brochure

Рисунок 4.12 – Ліворуч: Saargummi, праворуч: Pandrol Vanguard

Проект Silent Track також розробив нову секцію рейки з вужчою подошвою та із новою системою кріплення, що знизило рівень шуму на 3 дБ.

На рис. 4.13 наведено Голландський проєкт Quiet Rail Traffic (STV) конструкції колії у якому рейка встановлюється в амортизуючу основу і вона безперервно підтримується жорстким вставним матеріалом, і це діє як амортизуючий механізм. Зменшення шуму в порівнянні з плитною конструкцією колії із рейок UIC 54 становить 5 дБ. У випадку влаштування огороження із збоку колії, висотою 0,7 м, це призводить до зниження рівня шуму на 6 дБ [44].

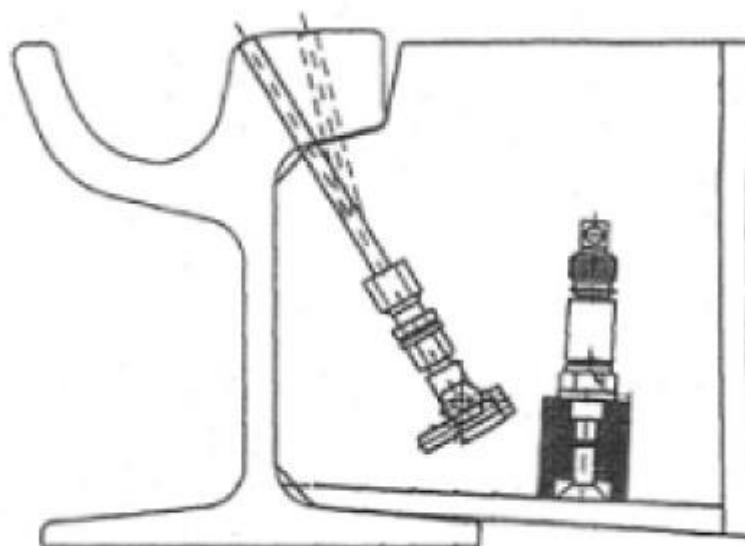
Ще одним заходом зниження шумового навантаження від рухомого складу залізниць є використання лубрікаторів для змащення рейок у кривих ділянках колії. У результаті чого зменшується тертя між колесом та рейкою, що призводить до зниження шумового навантаження. Оскільки при терті виникає свист, що має високий шум (2-4 кГц). Це викликано боковою взаємодією колеса і рейки, і ковзанням колеса по рейці, що збуджує високочастотні резонанси в рейці та колесі.



Source: Thompson and Gautier 2006.

Рисунок 4.13 – Плитна ділянка колії SA42 проєкту «Тихий залізничний рух»

Було встановлено, що прототип мастила із наскрізними отворами, розроблений Lion Oil, є таким ненадійний. На рис. 4.14 зображено ін'єкційний пристрій для змащування контакту рейка-колесо, це такі системи [50] як Clicomatic Rail; (B) FluiLub.



Source: Q-City 2009.

Рисунок 4.14 – Принципова система змащування рейки

Удосконалення системи змащування рейок у кривих ділянках колії призведе до зменшення зносу рейок та дозволить знизити рівень шумового навантаження на навколишнє середовище.

Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата

0053.216523.ДР.2022.001

Лист

50

Висновки до розділу 4

Із проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Джерелами залізничного шуму на навколишнє середовище є: шум кочення коліс по рейках, що спричинений шорсткістю поверхонь; шум коліс рухомого складу, що зумовлений конструкцією коліс;
2. Для зменшення шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту найбільш доцільно є удосконалення ходових частин рухомого складу і конструкції залізничної колії;
3. Ефективним способом зниження шумового навантаження на житлові райони є застосування шумозахисних екранів вздовж колії.
4. Шум від кочення коліс рухомого складу можна зменшити за допомогою застосування композитних гальмівних колодок у вантажних вагонах, або пружних коліс чи амортизаторних коліс. Найефективнішим заходом для зменшення шуму є дооснащення вантажних вагонів композитними гальмівними колодками.
5. Шум від залізничної колії можна зменшити за допомогою рейкових амортизаторів, пружних колійних колодок та їх комбінацій із шумозахисними стінками різної висоти. Системи змащування рейок, також ефективно позначається на зменшені величини шумового навантаження від рухомого складу.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						51
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Основні наукові результати та висновки магістерської роботи полягають у наступному:

1. Основними джерелами залізничного шуму є шум від кочення коліс рухомого складу, шум від роботи силового обладнання поїздів та – аеродинамічний шум на високошвидкісних залізницях.

2. Із аналізу наукових робіт встановлено, що поїзди із дизельними двигунами є шумнішими за поїзди із електродвигунами. Різниця шумового навантаження коливається до 8 дБ. Проведені дослідження показують, що рухомий склад після 2000 р. випуску має значно нижчий рівень шуму у порівнянні із випусками рухомого складу до 2000 р. Тим не менше, рівень шуму становить близько 80 дБ(А) для нового та модернізованого рухомого складу, що потребує подальшого удосконалення рухомого складу залізниць із метою зменшення шумового навантаження на оточуюче середовище.

3. Для прогнозування шумового навантаження від рухомого складу залізниць у країнах Європейського Союзу використовуються такі методи: Schall 03, MPVHD та CNOSSOS-EU.

4. Встановлено, що величина шумового навантаження при проїзді рухомого складу залізниці залежить від швидкості рухомого складу та виду поїзду. Результати досліджень шумового навантаження показали, що при проїзді вантажного поїзду на графіку запису шуму, спостерігаються ділянки шумового навантаження, які чітко показують проїзд тягового рухомого складу та вантажних вагонів. У випадку проїзду тягового рухомого складу спостерігаються максимальні величини шумового навантаження.

5. Встановлено, що величина максимального навантаження від тягового рухомого складу склала 74,5 дБ. При цьому величина шумового навантаження від вантажних вагонів склала 60–68 дБ. Величина шумового навантаження при проїзді пасажирського рухомого складу є меншою у порівнянні із вантажним

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		52

поїздом. Максимальна зафіксована величина шумового навантаження від пасажирського вагону склала 42–48 дБ, а від вантажного вагону 60–68 дБ.

6. При проїзді рухомого складу залізниць величини шумового навантаження перевищують нормативну величину 60 дБ, при розташуванні житлової зони 35 м від осі найближчої колії.

Для зменшення шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту найбільш доцільно є удосконалення ходових частин рухомого складу і конструкції залізничної колії.

7. Ефективним способом зниження шумового навантаження на житлові райони є застосування шумозахисних екранів вздовж колії.

Шум від кочення коліс рухомого складу можна зменшити за допомогою застосування композитних гальмівних колодок у вантажних вагонах, або пружних коліс чи амортизаторних коліс. Найефективнішим заходом для зменшення шуму є дооснащення вантажних вагонів композитними гальмівними колодками. Крім цього шум від залізничної колії можна зменшити за допомогою рейкових амортизаторів, пружних колійних колодок та їх комбінацій із шумозахисними стінками різної висоти. Системи змащування рейок, також ефективно позначається на зменшенні величини шумового навантаження від рухомого складу.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						53
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Виброизоляционные маты USM® для рельсовых путей. Маты для рельсовых путей – уменьшение вибрации и структурного шума. Calenberg Ingenieure GmbH
2. Clausen, U.; Doll, C.; Franklin, F.J.; Franklin, G.V.; Heinrichmeyer, H.; Kochsiek, J.; Sieber, N. Reducing Railway Noise Pollution; European Parliament: Brussels, Belgium, 2012; pp. 10–55.
3. Watson, I.; Ali, A.; Bayyati, A. Noise Mitigation and Related Factors of High Speed Railways. Eur. J. Sustain. Dev. 2018, 7, 11–19.
4. Peris, E.; Woodcock, J.; Sica, G.; Sharp, C.; Moorhouse, A.T.; Waddington, D.C. Guidance for new policy developments on railway noise and vibration. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2016, 85, 76–88.
5. Zannin, P.H.T.; Bunn, F. Noise annoyance through railway tra_c—A case study. J. Environ. Health Sci. Eng. 2014, 12, 14.
6. Hadzi-Nikolova, M.; Mirakovski, D.; Despodov, Z.; Doneva, N. Tra_c noise in small urban areas. Int. J. Transp. Logist. 2013, 27, 4.
7. Report from the Commission to the European Parliament and the Council On the Implementation of the Environmental Noise Directive in Accordance with Article 11 of Directive 2002/49/EC; European Commission: Brussels, Belgium, 2017.
8. Act Nr. 2/2005 on the Assessment and Control of Noise in the External Environment and on the Amendment of the Act of the National Council of the Slovak Republic no. 272/1994 Coll. on the Protection of Human Health, as Amended; National Council of the Slovak Republic: Bratislava, Slovakia, 2005.
9. Decký, M.; Krokker, A. Ekologická kapacita železničných tratí a pozemných komunikácií. [Ecological capacity of railways and roads]. Železničná Doprava a Logistika 2011, 3, 17–27.
10. Němec, M.; Danihelová, A. Dopravný Hluk; [Tra_c Noise]; Technical University in Zvolen: Zvolen, Slovakia, 2016; pp. 21–25.
11. Grubliauskas, R.; Venckus, Z. Simulation of the noise of domestic appliances

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		54

using the CadnaA programme. In Proceedings of the 9th International Conference Environmental Engineering (9th ICEE)—Selected Papers, Vilnius, Lithuania, 22–23 May 2014; Cygas, D., Tollazzi, T., Eds.; Vilnius Gediminas Technical Univ Press: Vilnius, Lithuania, 2014.

12. Datakustik, GmbH. Brief Instruction for the Program CadnaA—Software for Noise Abatement. Available online: www.datakustik.de (accessed on 3 May 2019).

13. EC 2003, Working Group Railway Noise of the European Commission: Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement Luxembourg, Publications Office, 2003.

14. [UIC 2008], Brian Hemsworth - Noise Consultant LLP: Environmental Noise Directive Development of Action Plans for Railways; prepared for International Union of Railways (UIC).

15. Thompson and Gautier 2006, D J Thompson (University of Southampton) and P-EcGautier (SNCF): Review of research into wheel/rail rolling noise reduction; JRRT79cIMechE 2006JRRT79 IMechE 2006.

16. TSI Noise 2011, COMM. DEC. (2011/229/EC) of 4 April 2011 concerning the technical specifications of interoperability relating to the subsystem ‘rolling stock – noise’ of the trans-European conventional rail system.

17. SBB 2011, Swiss Federal railway: Brochure Silence please, (http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/die-sbb-bewegt-dieschweiz/der-umweltverpflichtet/laerm/_jcr_content/relatedPar/contextmenu_1/downloadList/download_1.s_pooler.download.pdf; last visit: January, 3rd 2012) Original language: Schweizer Bundesbahn: – Broschüre Ruhe bitte!.

18. Bukovnik 2010, Monika Bukovnik (psiA Consult GmbH): Ausgewählte Kapitel zur Eisenbahnlärmbekämpfung (selected aspects concerning rail noise abatement), Presentation at University of Natural Resources and Life Sciences; Vienna 2010 (http://www.rali.boku.ac.at/fileadmin/_/H85/H856/_temp_/Bahn2_WS10.pdf (last visit

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		55

July 14th 2011)).

19. Butorina, M.; Oleinikov, A.; Kuklin, D. Classification of Railway Lines by Noise Emission for Noise Protection Design. *Akustika* 2019, 32, 231–237.

20. Zhang, X.Y.; Thompson, D.J.; Squicciarini, G. Sound radiation from railway sleepers. *J. Sound Vib.* 2016, 369, 178–194.

21. Heutschi, K.; Buhlmann, E.; Oertli, J. Options for reducing noise from roads and railway lines. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 2016, 94, 308–322.

22. Jiang, S.; Meehan, P.A.; Bellette, P.A.; Thompson, D.J.; Jones, C.J.C. Validation of a prediction model for tangent rail roughness and noise growth. *Wear* 2014, 314, 261–272.

23. Ivanov, N.I.; Boiko, I.S.; Shashurin, A.E. The problem of high-speed railway noise prediction and reduction. In *Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (Tgg-2017)*, Saint Petersburg, Russia, 17–19 May 2017; Book Series: *Procedia Engineering*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017; Volume 189, pp. 539–546.

24. Szwarc, M.; Czyzewski, A. New approach to railway noise modeling employing Genetic Algorithms. *Appl. Acoust.* 2011, 72, 611–622.

25. Van Leeuwen, H.J.A. Railway noise prediction models: A comparison. *J. Sound Vib.* 2000, 231, 975–987.

26. Steele, C. A critical review of some tra_c noise prediction models. *Appl. Acoust.* 2001, 62, 271–287.

27. Schall 03/Akustik 03. Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen; [Guideline for the Calculation of Sound Immissions of Railways]; Deutsche Bundesbahn: Munich, Germany, 1990; pp. 1–59.

28. Liberko, M. Hluk z Dopravy [Noise from Tra_c], 2nd ed.; VÚVA: Brno, Czech Republic, 1996; p. 54.

29. Bland, J.M.; Altman, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986, 327, 307–310.

30. Посилання на CNOSSOS-EU

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		56

31. Directive 2002/49/EC from 1 June 2011 [EC 2011] shows the current status of implementation of the Directive in the Member States.

32. EC 2011, REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL on the implementation of the directive on environmental noise in accordance with Article 11 of Directive 2002/49/EC from June, 1st 2011.

33. UIC 2010, International Union of Railways (UIC): Railway Noise in Europe – A 2010 report on the state of the art; ISBN: 978 2 7461 1880 5; Paris, September 2010.

34. CER UIC 2007, CER and UIC: A 2007 report on the state of the art - Noise Reduction in Rail Freight; Authors: Jakob Oertli, SBB (jakob.oertli@sbb.ch), Peter Hübner, UIC (peter.huebner@bluewin.ch); Version: March, 2008.

35. DB 2010, German railway: Position Paper, - Efficient noise protection - retrofitting of freight wagons conveying; German Railways - Transport Policy; Berlin, September 2010 (Original language: Deutsche Bahn: Positionspapier - Effizienter Lärmschutz – Umrüstung von Güterwagen Fördern; Deutsche Bahn AG – Verkehrspolitik; Berlin, September 2010).

36. ÖBB - BMVIT 2008, Environmental Noise Action Plan, Austria, 2008, Part B11 – railroad tracks in the jurisdiction of the Federal Minister for Transport, Innovation and Technology (Original language: Umgebungslärm-Aktionsplan Österreich 2008, Teil B11 - Schienenstrecken, im Zuständigkeitsbereich der Bundesministerin für Verkehr, Innovation und Technologie).

37. TSI Noise 2006, COMMISSION DECISION of 23 December 2005 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem ‘rolling stock — noise’ of the trans-European conventional rail system (notified under document number C(2005) 5666).

38. Com 2002/735/C, COMMISSION DECISION of 30 May 2002 concerning the technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to in Article 6(1) of Directive

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		57

96/48/EC (notified under document number C(2002) 1952) (2002/735/EC).

39. ISO 1996-2:1987, International Norm: Acoustics - Description and measurement of environmental noise - Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.

40. ReMR 1996, Ministry Housing, Spatial Planning and the Environment: Calculation and Measurement Regulations Rail Traffic '96; November 27, 2001 (<http://www.stillerverkeer.nl/rmv/RMVR/RMVR96.pdf>; last visit January, 3rd 2012) (Original language: Ministerie Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer: Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaa '96; 27 november 2001).

41. VBUSch 2006, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development Preliminary calculation method for the environmental noise at railways) – VBUSch; published May, 10th 2006 (Original language: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; “Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen; Veröffentlicht im Bundesanzeiger 22. Mai 2006).

42. CER UIC 2007, CER and UIC: A 2007 report on the state of the art - Noise Reduction in Rail Freight; Authors: Jakob Oertli, SBB (jakob.oertli@sbb.ch), Peter Hübner, UIC (peter.huebner@bluewin.ch); Version: March, 2008.

43. Thompson 2008-1, David Thompson: Noise control through rail grinding; Presentation at IPG-Rail Final Seminar; Doorn, The Netherlands, December 2008

44. Thompson and Gautier 2006, D J Thompson (University of Southampton) and P-E Gautier (SNCF): Review of research into wheel/rail rolling noise reduction; JRRT79 IMechE 2006 JRRT79 IMechE 2006.

45. Licitra 2006, Gaetano Licitra; Railway noise mitigation at source: an overview of possible solutions; presentation held on conference RailNoise 2006; Pisa, 9-10 November 2006.

46. Hemsworth 2006, Brian Hemsworth: Noise Reduction at Source - EU Funded Projects; presentation held on conference RailNoise 2006; Pisa, 9-10 November 2006.

47. EUROSABOT 2011, Web-site of the EUROSABOT-Project:

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		58

<http://ec.europa.eu/research/growth/gcc/projects/in-action-rail.html>; last visit January, 3rd 2012.

48. Dörsch 2009, Dr. Stefan Dörsch: State of the Art - UIC-Project, Technology of Composite Brake Blocks; Paris, 10.11.2009; presentation in Paris November, 10th 2009

49. Van den Dool 2007, ir. Ph.(Philip) H. van den Dool: Rail Dampers, rail infrastructure gets quiet; presentation at INTER-NOISE Istanbul, Turkey, AUGUST, 31st 2007.

50. Q-City 2009, Project Quiet City Transport (Q-City) DELIVERABLE D5.3; Brussels – Quiet tram vehicles on quiet tracks Performance report of applied squeal measures; Brussels, December 2009.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						59
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК РИСУНКІВ

Рисунок 1.1 – Дія рухомого складу залізниці на розповсюдження вібрації та шуму у навколишнє середовище [1]

Рисунок 1.2 – Графік впливу діапазону частот на будівлі, споруди, обладнання та людей при проїзді рухомого складу залізниць [1]

Рисунок 1.3 – Результати досліджень шумового навантаження на навколишнє середовища в Європі $L_{den} > 55$ дБ у 28 країнах-членах ЄС

Рисунок 1.4 – Ділянка залізниці ZV1/ZV2, Словаччина [2]

Рисунок 1.5 – Результати вимірювання шумового навантаження на ділянці ZV1 та порівняння із відомими методами Schall 03, MPVND

Рисунок 1.6 – Карта шумового навантаження на ділянці залізничної колії ZV1

Рисунок 1.7 – Джерела залізничного шуму залежно від швидкості поїзда

Рисунок 1.8 – Крива розвитку шумового навантаження при русі поїзду

Рисунок 1.9 – Розвиток рівнів шуму від рухомого складу (Швейцарія)

Рисунок 1.10 – Рівень шуму від австрійських самохідних залізничних транспортних засобів

Рисунок 3.1 – Шумомір Sound Level Meter 1.0.0.20

Рисунок 3.2 – Ділянка залізничної колії для виконання вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Рисунок 3.3 – Схема проведення вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Рисунок 3.4 – Процес проведення вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Рисунок 3.5 – Графік запису шумового навантаження при проїзді вантажного поїзду

Рисунок 3.6 – Графік запису шумового навантаження при проїзді локомотиву ЧМЕЗ

Рисунок 3.7 – Графік запису шумового навантаження при проїзді

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		60

пасажирського поїзду

Рисунок 3.8 – Графік запису шумового навантаження при проїзді вантажного поїзду із локомотивом ТЕ33А

Рисунок 4.1 – Верхня будова колії із пластичними матами для зниження шуму та вібрації [1]

Рисунок 4.2 – Зниження рівня шуму у верхній будові колії за рахунок застосування пластичних матів [1]

Рисунок 4.3 – Форма шумозахисних екранів

Рисунок 4.4 – Схема до розрахунку довжини шумозахисного екрану

Рисунок 4.5 – Схема до проєктування довжини бокових екранів

Рисунок 4.6 – Рекомендована схема водовідведення від залізничної колії:

Рисунок 4.7 – Конструкції колодкових і дискових гальм на рухомому складі залізниць

Рисунок 4.8 – Кільцеве амортизоване та перфороване колесо рухомого складу

Рисунок 4.9 – Амортизатори на колесах рухомого складу

Рисунок 4.10 – Колісні щити на рухомому складу

Рисунок 4.11 – Вигляд амортизаторів Tata Steel (SilentTrack) для зменшення шумового навантаження

Рисунок 4.12 – Ліворуч: Saargummi, праворуч: Pandrol Vanguard

Рисунок 4.13 – Плитна ділянка колії SA42 проєкту «Тихий залізничний рух»

Рисунок 4.14 – Принципова система змащування рейки

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Таблиця 1.1 – Важливість визначення джерел шуму від рухомого складу [13]

Таблиця 1.2 – Максимальний та реальний рівні шуму від високошвидкісних поїздів

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		61

Таблиця 3.1 – Програма експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних вимірювань шумового навантаження від рухомого складу залізниць

Таблиця 4.1 – Контрольні величини коефіцієнта звукопоглинання панелей шумозахисного екрану

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						62
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ І КЛЮЧОВІ СЛОВА

Дипломна магістерська робота складається з 4 розділів та загальних висновків. Робота включає 32 рисунка та 5 таблиць. Загальний обсяг дипломного проекту становить 64 сторінки. Кількість використаних літературних джерел – 50.

Об'єктом досліджень є шумове навантаження від рухомого складу залізниць.

У магістерській роботі виконано аналіз нормативних документів щодо оцінки шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту та аналіз методики CNOSSOS-EU та вимог інтероперабельності щодо оцінки шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту. Проведено експериментальні вимірювання шумового навантаження при русі рухомого складу залізниць. Запропоновано рекомендації із зменшення шумового навантаження від дії рухомого складу залізниць.

У результаті досліджень встановлено, що при проїзді рухомого складу залізниць величини шумового навантаження перевищують нормативну величину 60 дБ, при розташуванні житлової зони на відстані 35 м від осі найближчої колії.

Для зменшення шумового навантаження від рухомого складу залізничного транспорту найбільш доцільно є удосконалення ходових частин рухомого складу і конструкції залізничної колії.

Ключові слова: шумове навантаження, рухомий складу залізниць.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Degree Master's work consists of four chapters and overall conclusions. The work includes 32 figures. The total amount of the degree project 64 pages. The amount of used literature sources – 50.

The object of research is the noise load from rolling stock of railways.

In the master's thesis, an analysis of normative documents on the assessment of noise load from rolling stock of railway transport and analysis of the CNOSSOS-EU

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		63

methodology and interoperability requirements for assessment of noise load from rolling stock of railway transport was carried out. Experimental measurements of noise load during the movement of railway rolling stock were carried out. Recommendations for reducing the noise load from the action of rolling stock of railways are proposed.

As a result of the research, it was established that the noise level during the passage of railway rolling stock exceeds the normative value of 60 dB, when the residential area is located at a distance of 35 m from the axis of the nearest track.

To reduce the noise load from rolling stock of railway transport, it is most appropriate to improve the running parts of the rolling stock and the construction of the railway track.

Keywords: noise load, rolling stock of railways.

					0053.216523.ДР.2022.001	Лист
						64
Із	Лист	№ докум	Підпис	Дата		