

АНАЛІЗ ШУМІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ: АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Володимир Степанович Дудніков

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7115-7086>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Галина Іванівна Сокол

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6183-9155>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Україна, Європейський Союз та інші країни визначають шумове забруднення довкілля як одну з основних проблем сучасного світу [1]. Згідно з Директивою з шуму навколишнього середовища 2002/49/ЄС кожна держава Євросоюзу повинна дотримуватися низки принципів, серед яких проведення моніторингу рівнів шуму, відкрите опублікування інформації про стан навколишнього середовища та складання карт шуму міст. Одним із найбільш суттєвих джерел шуму є залізничний транспорт, як пасажирський так і вантажний. Проблема захисту від підвищеного шуму входить до найважливіших екологічних проблем [2]. Під дією підвищеного шуму, що викликає дискомфорт, зниження слуху, і навіть патології серцево-судинної, ендокринної, нервової та інших систем людини, в містах знаходиться від 60 до 70% населення. ЮНЕСКО сформувало сучасну ситуацію: «Шум – лихо сучасного світу та небажаний продукт його технічної цивілізації». Істотний внесок у цю проблему робить шум від залізниці. Вказується, що шум залежить від швидкості: до 40-50 км/год переважають внутрішні джерела (електродвигуни, компресори), від 50 до 300 км/год переважає шум від взаємодії пари «колесо-рейка», а вище 300 км/год починають позначатися аеродинамічні процеси.

Таким чином завдання зниження транспортного шуму у населених пунктах та вирішення цієї проблеми є одним із актуальних завдань сучасної акустики.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Метою роботи стало складання аналітичного огляду наукових робіт зі створення методик виявлення джерел шумів від потягів, для розрахунків та вимірювань рівнів шумів на основі сучасних знань акустики, розробок придушення шумів в джерелі та використання пасивних мір захисту. При цьому вирішувалася основна задача: на основі даних наукових робіт, що наведені в аналітичному огляді, показати

шляхи зниження шумів в зонах руху потягів до норм, що виставляє Євросоюз.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Залізничний транспорт характеризується підвищеними рівнями шуму в цілодобовому режимі, відповідно впливає на ступінь шумового комфорту, особливо в нічний час, і призводить до справедливих скарг населення. Методом боротьби з шумом від руху поїздів є пристрій шумозахисних екранів і будов на магістральних територіях. У зв'язку з цим особливе значення має надійність методів розрахунку шуму від залізничного транспорту та правильність визначення шумових характеристик потягів. Відомо, [3], що на рівень шуму від руху потягу впливають різні фактори, такі як категорія потягу, його довжина, швидкість руху та інше, точки спостереження.

У роботі [4] отримано рівняння лінійної регресії для розрахунку шумових характеристик поїздів у вигляді максимального та еквівалентного рівнів звуку в залежності від довжини, швидкості руху та типу рухомого складу (пасажирський потяг з локомотивною тягою, вантажний поїзд, електропоїзд). Параметри рівнянь лінійної регресії визначено шляхом оптимізації за критерієм найкращого збігу результатів розрахунку та натурних вимірів. Вирази для розрахунку шумових характеристик представлені у вигляді простих для розрахунку інженерних формул, зручних під час проектування.

Також розроблено уточнений метод розрахунку шумових характеристик потягів та рівнів шуму від руху поїздів на місцевості. Дано межі застосування спрощеного виразу для спаду еквівалентних рівнів звуку з віддаленням від потягу. Серед основних причин виникнення шуму від руху залізничного транспорту можна виділити: 1) кочення колеса рейками; 2) коливання (вібрація) корпусів вагонів; 3) коливання рейкового полотна (рейки, шпали, баласт); 4) зіткнення вагонів та елементів складу між собою; 5) коливання огорожувальних конструкцій, що збуджуються вібрацією проникає через ґрунтовий масив від верхньої будови колії та тунельного оброблення.

При розрахунку шумових характеристик необхідно також враховувати такі фактори [4]: 1) характеристики джерела шуму: звукова потужність, що випромінюється поїздом, довжина та швидкість його руху, кількість залізничних смуг; 2) характеристика колії: повороти, нахили, стрілки, прискорення, гальмування, наявність залізничних мостів; 3) геометричне згасання, пов'язане з розширенням фронту звукової хвилі під час поширення; 4) характеристики середовища: напрям та зміна швидкості вітру, що призводять до рефракції звукових

променів у напрямку землі або вгору з утворенням звукової тіні; температурна інверсія з висотою, що також призводить до заломлення променів щодо земної поверхні; поглинання енергії звукових хвиль; класичне (зумовлено розсіюванням, теплопровідністю та в'язкістю середовища) та молекулярне (викликане коливальною релаксацією молекул переважно азоту).

У [5] проаналізовано нормативний вплив шуму від залізничного транспорту на селітебну територію, намічено перспективи його зниження. Вивчені основні джерела утворення шуму залізничного транспорту та нормативні стандарти, що регулюють його вплив на навколишнє середовище. Встановлено основні причини скарг громадян на акустичний дискомфорт, що виникає від дії залізничного транспорту та його інфраструктури. Проведено натурні виміри та програмне моделювання джерел шуму. Дано оцінку ефективності шумозахисних заходів, спрямованих на зниження негативного акустичного впливу, що виходить від залізничного транспорту.

Показано, що за інтенсивністю шум від залізничного транспорту займає проміжне значення між автомобільним та авіаційним шумами, проте за кількістю джерел залізничного шуму немає рівних. Виділяють три основних об'єкти, на які впливає шум від залізничного транспорту: селітебна територія; пасажери та обслуговуючий персонал на станціях; пасажери та обслуговуючий персонал поїздів.

У селітебній зоні основними джерелами шуму є шум локомотива; звукові сигнали; аеродинамічна взаємодія рухомого складу з навколишнім середовищем (при швидкості понад 200 км/год); взаємодія шляху та рухомого складу під час руху (випромінювання шуму системою колесо – рейка), або шум кочення; структурний шум, що виникає від передачі вібрації в системі колесо - рейка в розташовані поблизу будівлі; машини та механізми для виконання робіт з поточного змісту шляху; допоміжне обладнання; виробничі підприємства залізничного транспорту (сортувальні та вантажні станції, локомотивні та вагонні депо); тягові підстанції; залізничні мости (при русі ними рухомого складу).

Свій внесок у процес шумоутворення дає також деренчання корпусу рухомого складу (корпусний шум), «виск» колеса в кривих, звуковипромінювання гальмівних колодок і колеса при гальмуванні (шум гальмування), зіткнення вагонів (шум зчіпки), відображення звуку при установці рейок удари на стиках рейок. Аналіз розподілу скарг залежно від розташування житлових будинків по відношенню до зони санітарного розриву (орієнтовно 100 м) показав, що більшість з них надходить від власників будинків, розташованих безпосередньо в зоні санітарного розриву (63 % – до 100 м, 32 % – понад 100 м).

Для зниження наднормативного акустичного впливу в районах високоповерхової забудови необхідно використовувати комплекс заходів, що знижують інтенсивність шуму в джерелі, оскільки ефективність екранів недостатня.

У дисертації [6] розроблено класифікація засобів та методів зниження шуму кочення поїздів; розроблено фізико-математична модель шуму кочення, що показує зв'язок процесів шумоутворення з характером вібраційних процесів; встановлена залежність шуму кочення від швидкості руху та типів поїздів; запропоновано модель розрахунку та розроблено метод розрахунку акустичної ефективності коштів ближньої звукоізоляції. Встановлено граничні можливості зниження шуму кочення у джерелі освіти для вітчизняного рухомого складу (шляхом шліфування рейок та застосування вібродемпфуючих накладок на шийку рейки); доведено ефективність зниження шуму кочення шляхом застосування ближньої звукоізоляції; розроблені рекомендації щодо зниження шуму кочення.

В [7] виконані експериментальні вимірювання сейсмічних та акустичних полів в дальній зоні з використанням лінійної антени при роботі залізничного транспорту. Проведено порівняльний аналіз спектральних характеристик та механізмів випромінювання пружних сигналів, зареєстрованих на різних віддаленнях. Виконано вимірювання взаємної кореляційної функції сейсмічних сигналів з багатоелементною антеною та дана інтерпретація хвильової структури сейсмічного поля поїзда у дальній зоні.

У роботі [8] розглянуто основні технічні рішення, що встановлюють комплексні вимоги до організації шумозахисних заходів під час руху високошвидкісних поїздів. Якщо шум від поїздів, що рухаються зі швидкістю до 250 км/год, залежно від специфікації залізничного складу, складається в основному з шуму кочення (система «колесо - рейка») і шуму двигуна, що характеризується його потужністю і силою тяги потяга, що створюється, а також допоміжних систем потяга (наприклад, системи вентиляції та кондиціонування вагонів), то у високошвидкісних поїздів (швидкість понад 250 км/год) домінує аеродинамічний шум, який включає: шум турбулентних потоків повітря, що виникає в результаті опору повітряних мас руху поїзда; шум струмоприймача. Крім того, джерелами шуму можуть бути міжвагонний простір, вентиляційні решітки, виступи (дверні ручки, сходи і т. д.) та порожнини, які можуть викликати резонансні відгуки. При проектуванні акустичних екранів слід звертати особливу увагу на джерела, розташовані у верхній частині поїзда.

Для зниження шуму від високошвидкісних потягів проводять низку заходів: встановлення акустичних екранів; спорудження штучних

ввіймок чи насипів; звукоізолююче скління в будівлях, що захищаються; реалізацію принципу зниження шуму у джерелі.

Принцип зниження шуму у джерелі реалізується за такими напрямками: акустичне шліфування рейок; застосування вібродемпфуючих накладок на шийку рейки; нанесення на шийку рейки, візок та колеса віброшумопоглинаючої мастики; використання підрейкових та підшпальних підкладок; нанесення шару алюмінію на гальмівні диски; обточування бандажів коліс.

Розглянуто вимоги до шумозахисних конструкцій, аеродинамічні навантаження на акустичний екран. Розроблено математичну модель тривимірного нестационарного руху моделі потяга по горизонтальній поверхні вздовж моделі шумозахисного екрана кінцевої довжини з використанням методу динамічного перестрою сітки.

Ефективність акустичного екрану залежить від правильного вибору його основних параметрів [9-14] - висоти, довжини, конструктивного рішення його верхньої частини, застосування в панелях звукопоглинаючих матеріалів, цілісності конструкції (не допускаються щілини та отвори), а також за рахунок його раціонального положення щодо залізниці та об'єктів, що захищаються. Висоту екрана слід вибирати з урахуванням висоти залізничного полотна, висоти об'єктів, що захищаються, та їх положення щодо залізниці.

У [9-14] поставлена та розв'язана задача знаходження ефективності шумозахисного екрана зі щілиною в його основі, яка дозволяє оцінити ефективність побудованих шумозахисних екранів в Україні та тих, що проектуються. Також поставлена та розв'язана задача знаходження звукового поля довкола нескінченно довгого шумозахисного екрана з перфорацією. Запропоновано модель екрану з кінцевою звукоізоляцією у вигляді перфорованого акустично жорсткого екрану. Ефективність шумозахисного екрану змінюється лише в межах 1,1 дБ для швидкостей руху до 180 км/год.

Метод кінцевих елементів, що було використано для комп'ютерного моделювання, дав змогу оцінити залежність між звукоізоляцією та ефективністю шумозахисного екрана в більш ширшому діапазоні частот. Були проведені розрахунки зниження рівнів шуму екранами з литого полікарбонату товщинами 5мм, 10мм та 20мм; сталі 1мм, 2мм та 5 мм та цегли 125 мм та 250 мм. Одержані якісні оцінки ефективності шумозахисних екранів з кінцевою звукоізоляцією в широкому діапазоні частот.

У роботі [15] для системного вирішення завдання зниження шуму залізничного транспорту запропоновано алгоритм вибору комплексу шумозахисних заходів з підбором оптимальних конструктивних параметрів шумозахисних конструкцій, що входять до його складу.

Виділено області прийняття рішення в залежності від відстані до об'єкта, що захищається, поверховості екранованої забудови і значень необхідного зниження шуму. Відзначено відмінності у зниженні шуму насипами для захисту малоповерхових та багатоповерхових будівель, можливості ефективного застосування шумозахисної виїмки та комбінацій шумозахисних конструкцій.

Шум залізничного транспорту становить 90-120 децибелів, він збільшується зі зростанням швидкості руху. За інтенсивністю такий шум займає проміжне положення між авіаційним та автомобільним, але за кількістю джерел йому немає рівних. Слід мати на увазі допустимі норми шуму для людського вуха: вдень - 55 децибел; у нічний - 40 децибел [16]. Особливий інтерес становлять акустичні дослідження понад високошвидкісні поїзди на магнітній підвісі. В даний час у світі використовуються два типи транспортних систем на магнітному підвісі. це німецька система Transrapid (електромагнітна система підвішування, відстань між колесом і рейкою складає 10-15 мм) та японська Maglev (електродинамічна система підвішування, відстань між колесом и рейкою досягає 100-110 мм). Нажаль, дані про теоретичні та експериментальні дослідження відсутні.

ВИСНОВКИ

1. Наведений аналітичний огляд наукових робіт з аналізу шумів залізничного транспорту.
2. Показано, що при русі потягів виникають джерела шумів, наведена їх фізична природа.
3. Розглянуті активні та пасивні методи зниження шумів.
4. Розроблені методики розрахунків рівнів шумів та експериментальних вимірювань сейсмічних та акустичних полів в дальній зоні з використанням лінійної антени при роботі залізничного транспорту
5. Показана ефективність акустичних екранів.
6. Наведено, що в зонах руху потягів при впливі шуму від залізничного транспорту на селітебну територію повинні здійснюватися рівні шумів, що відповідають нормам України та Євросоюзу.

ПОСИЛАННЯ

1. Закон України "Про охорону навколишнього природного № 41. – Ст. 546.
2. Иванов Н. И., Куклин Д. А. Проблема шума железнодорожного транспорта и пути ее решения / Труды конференции «Защита населения от повышенного шумового воздействия», 2011.- С. 108–123.

3. Котенко С. Г. Заець В. П. Звук рухомого точкового джерела. // Електроніка та зв'язок. – 2015. – Т.20. – №4. – С. 89-93.

4. Хасс Р. Р. Метод расчета шума от потоков железнодорожного транспорта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 01.04.06 – Акустика; М., 2013. – 24 с.

5. Курепин Д. Е. Анализ уровней сверхнормативного шумового воздействия от железнодорожного транспорта / Современные технологии транспорта. 2015/1. - С. 34–40.

6. Матвеев П. В. Расчет и снижение шума качения поездов. 01.04.06 - Акустика. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2014. – 23 с.

7. Бубнов Е. Я., Гуций В. В. Экспериментальные исследования упругих полей железнодорожного транспорта в дальней зоне / Вестник РГУПС, №2(58), 2015. - С. 141–146.

8. Титова Т. С., Шашурин А. Е., Бойко Ю. С. Технические решения по снижению шума от высокоскоростных железнодорожных магистралей / Транспорт Российской Федерации №2(57), 2015. - С. 30–35.

9. Котенко С. Г. Зниження рівнів шуму рухомих джерел шумозахисними екранами з кінцевої звукоізоляцією. - Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.08 - Прикладна акустика та звукотехніка. - Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", МОН України, Київ, 2019, 132 с.

10. Котенко С. Г. Измерение акустических свойств шумозащитного экрана в г. Харькове // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т.6. – №10. – С.64-67.

11. Погребняк А., Котенко С. Г. «Вплив звукоізоляції на акустичну ефективність шумозахисного екрана» ELCONF-2015, с. 28-31. <http://elconf.ieee.org.ua/>.

12. V. Zaets, S. Kotenko. Investigation of the efficiency of a noise protection screen with an opening at its base. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5. – N5(89). – 2017. p. 4-11.

13. Поторжицький В. В., Котенко С. Г., Заець В. П. Патент на корисну модель №108733 «Шумозахисний екран», 2016.

14. Заець В. П., Котенко, С. Г., Теленга А. О. Патент на корисну модель №79889 «Шумозахисний екран», 2018.

15. Борцова С. С. Комплексное решение проблемы снижения шума железнодорожного транспорта / NOISE Theory and Practice. - С. 33–47.

16. ДСТУ EN ISO 3381:2018. Залізничний транспорт. Акустика. Вимірювання шуму всередині залізничних транспортних засобів.