ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 629.331:656.11

ДОСЛІДЖЕННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Канд. техн. наук І. О. Хітров

RESEARCH OF THE NOISE LOAD OF VEHICLES

PhD (Tech.) I. Khitrov

Анотація. *У цьому дослідженні проведено аналіз причини утворення автомобільного шуму і джерел шуму. Методика дослідження включала вимірювання рівня шуму в різних точках салону автобуса за допомогою спеціалізованого акустичного обладнання. Визначено допустимий рівень шумового навантаження в салоні автобуса за різних умов експлуатації: міський і позаміський рух, простій. Встановлено, що шум у салоні автобуса може досягати значних рівнів під час руху, що може створювати дискомфорт для пасажирів і водія.*

Ключові слова: *транспортний засіб, шумове навантаження, джерело шуму, шумомір, рівень шуму.*

Abstract. *Noise can be viewed as an undesirable component of a signal that can affect the quality of perception or transmission of information in a system. In different contexts, the term «noise» may have different meanings, but a common feature is the random impulsive nature of this phenomenon.*

Automotive noise is sound energy generated by the movement of a vehicle and its components. The study of road traffic noise is an important area, especially in environments where noise can have a significant impact. This includes analyzing noise levels, identifying noise sources, assessing its impact on the environment, and developing strategies to reduce noise.

This study analyzes the causes of automobile noise and their noise sources, and provides classification features. The research methodology included measuring the noise level at different points of the bus interior using a specialized acoustic sound level meter Testo 816. The Sound Meter program was additionally used to obtain current time values of noise level changes with graphical data interpretation.

When the bus is idling, a monotonous noise load level in the range of 58-63 dB is observed in the cabin, which is typical for a running diesel engine, which is the main source of noise. The movement of the bus in urban conditions is accompanied by a change in traffic conditions, which in turn increases the maximum noise load to 73 dB. The movement of the bus in the city is accompanied by an increase in the noise load up to 74 dB and the equivalent up to 67 dB. This is due to an increase in speed, contact of tires with the asphalt road, interaction of the air environment with bus elements, the appearance of vibrations and other noises.

Although the noise load in the bus interior is within the upper permissible limits, it requires the introduction of noise reduction measures, especially for long-distance buses for a comfortable ride for passengers.

Therefore, it is important to take noise levels into account when designing and operating vehicles, as well as when planning urban infrastructure projects.

Keywords: *vehicle, noise load, noise source, sound meter, noise level.*

Вступ. Автомобільна промисловість відіграє ключову роль у впровадженні інновацій і розвитку технологій для зменшення шумового навантаження довкілля. Виробники постійно працюють над удосконаленням систем управління шумом і використанням новітніх матеріалів, розробленням ефективних систем зниження звуку, «тихих» конструкцій та інших інноваційних рішень [1].

Зменшення шуму від діяльності автомобільного транспорту складає загальний контекст сталого розвитку і створення більш екологічно чистих і життєздатних міських умов, адже високі рівні шуму можуть викликати стрес та інші негативні впливи на фізичне та психічне здоров'я [2].

Отже, дослідження шуму автомобілів має велике значення для забезпечення сталого розвитку, здоров'я населення та поліпшення якості життя. Вони визначають і формують стратегії для зменшення негативних впливів шуму і сприяють технічному прогресу в автомобільній індустрії та побудові екологічно чистих просторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження шумового навантаження автомобільного транспорту є важливою галуззю, особливо в умовах, де шум може мати значний вплив. Це включає аналіз рівнів шуму, визначення джерел шуму, оцінювання його впливу на оточення та розроблення стратегій для зменшення шуму.

Науковці О. С. Миронюк, В. В. Шевчук та В. В. Грабовець дослідили шумове поле легкових автомобілів. Встановлено, що для зниження загального рівня шуму легкового автомобіля без зниження рівня його джерела можна досягти завдяки перерозподілу енергії шуму [3].

У статті [4] розглянуто і оцінено шум, який видають транспортні засоби, залежно від типу дорожнього покриття і швидкості руху. Дослідження показали, що зниження шуму можна досягти шляхом зменшення швидкості руху транспортних засобів.

Дослідження [5] являє собою новий напрям оцінювання шуму шляхом аудіоперевірки транспортних засобів як інструменту ідентифікації.

У статтях [6, 7] дослідники розкривають проблему шумового забруднення міст із дослідженням методів їх вирішення.

Дослідження шуму дає змогу розробити і впровадити нові технології та стратегії для зменшення шуму в салоні автобуса, що сприяє покращенню умов для пасажирів і водія.

Визначення мети та завдання дослідження. Головна мета дослідження полягає в розкритті проблеми шумового забруднення від діяльності автомобільного транспорту. Для досягнення сформульованої мети з'ясуємо причини утворення автомобільного шуму, проаналізуємо нормативне забезпечення щодо встановлення допустимого рівня транспортного шуму та визначимо рівень шумового навантаження в салоні автобуса.

Основна частина дослідження. Шум – це акустичне явище, пов'язане зі звуковими хвилями, які рухаються через середовище і сприймаються об'єктами або людьми в цьому середовищі. Шум – це випадковий, неправильний сигнал або перешкода, яка виникає при роботі в різних системах, механізмах, джерелах тощо. У контексті звуку шум визначають як непотрібний акустичний сигнал, який може бути спричинений різними джерелами, такими як механізми, природні явища або інші джерела.

Шум можна розглядати як небажану складову сигналу, яка може впливати на якість сприйняття або передавання інформації в системі. У різних контекстах

термін «шум» може мати різні значення, але загальною ознакою є випадковий імпульсний характер цього явища.

Автомобільний шум – це звукова енергія, генерована рухом автомобіля та його компонентів (рис. 1).

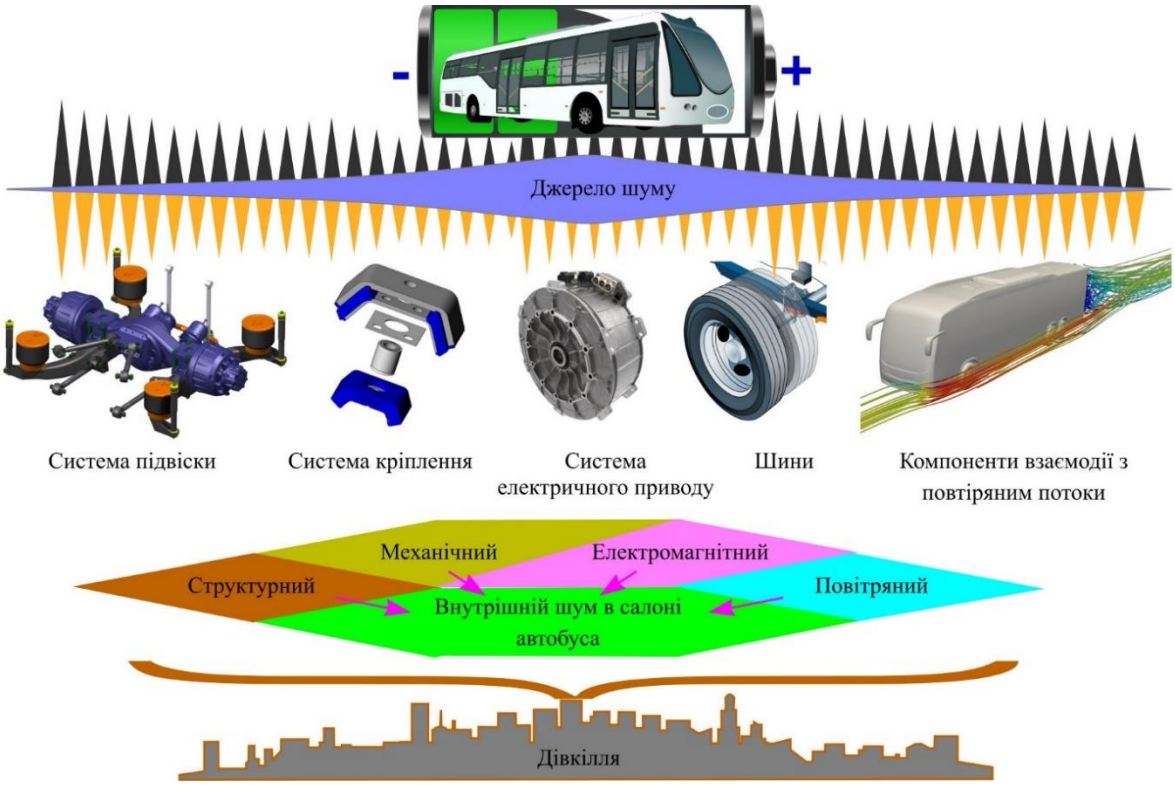

Рис. 1. Джерело шуму автомобільного транспорту

Основні джерела автомобільного шуму включають шум роботи силової установки (він може бути спричинений внутрішнім згорянням пального та рухом механічних частин двигуна), шум коліс і дорожнього покриття (звук, який виникає внаслідок контакту шин із дорожнім покриттям, нерівності на дорозі, ями та інші дефекти можуть збільшувати цей вид шуму), шум вітру (звук, створений опором повітря під час руху автомобіля, дизайн кузова та вікна може впливати на рівень цього шуму) і роботи вихлопної системи (звук, вироблений внаслідок виведення вихлопних газів із двигуна через вихлопну систему) та інші. Різні джерела взаємодіють між собою, створюючи загальний широкий акустичний фон, який сприймається як загальний шум автомобіля.

Шум може бути класифікований за різними критеріями, включаючи природу та джерело виникнення (рис. 2). Розкриємо їхню сутність у розрізі роботи автомобільного транспорту.

За характером спектра автомобільний шум поділяють на компоненти частот [8]:

- низькочастотний шум (низькі частоти). Зазвичай пов’язаний із роботою двигуна та рухом трансмісії. Низькі частоти можуть виникати внаслідок нерівностей на дорозі, аеродинамічного шуму та інших факторів;
- середньочастотний шум (середні частоти). Може бути пов’язаний із рухом коліс, витратами повітря від вентиляційних отворів, роботою підвіски та іншими механічними компонентами;

- високочастотний шум (високі частоти). Виникає внаслідок механічного тертя, руху елементів підвіски, аеродинамічних вихорів та електричного шуму в системі електроніки автомобіля.

Рис. 2. Класифікаційні ознаки видів шуму автомобіля

Поділ автомобільного шуму за спектральним характером є важливим для розуміння його джерел і ефективного контролю та зменшення. Заходи для зниження автомобільного шуму можуть включати використання акустичних матеріалів для ізоляції, оптимізацію аеродинамічного дизайну, поліпшення механізмів підвіски та інші технічні рішення.

Тональний і широкосмуговий шум – це два різних типи акустичного шуму, визначені характером їхніх частотних характеристик.

Тональний шум має чітко виражений частотний пік або декілька піків у вузькому діапазоні частот (це означає, що існує певна частота або набір частот, на яких звук особливо виділяється або зосереджується).

Прикладом тонального автомобільного шуму може бути звук, який виникає внаслідок неоднорідностей або дефектів у роботі автомобільного двигуна чи його компонентів. Це може включати певні частоти або їхні гармоніки, які виробляються під час роботи окремих механізмів.

Наприклад, якщо є проблема з певною частиною двигуна або системи випуску, це може призводити до звуків, які мають характеристичний тон або певні тонові компоненти. Це може бути спричинене нерівномірністю обертання валів, вібрацією або іншими аномаліями в роботі механізмів.

Такий тип звуку може виявити несправність або потребу в обслуговуванні транспортного засобу. Наприклад, підвищений тон може свідчити про проблему з вихлопною системою, а гудіння на певних обертах – проблему з підшипниками чи іншими механізмами.

Широкосмуговий шум являє собою рівномірно розподілене випадкове коливання частот у широкому діапазоні (енергія розподілена рівномірно за всією шириною частот). Прикладом широкосмугового шуму є звук,

створюваний від контакту автомобільних шин із дорожньою поверхнею (деякі звуки можуть бути пов'язані з витратами повітря під час їзди або зі структурою дороги).

Гучність звуку (шуму) переважно залежить від інтенсивності та розподілу енергії звукових коливань за шкалою частот [9, 10]. Окрім того, на гучність впливають його локалізація у просторі, тривалість впливу, маскувальна дія інших звуків та інші фактори. Поділяють шум (звук) за його гучністю на рівні (як правило, вимірюють в одиницях децибелів, дБ): тихий (звук, який є ледь чутний або може викликати труднощі в сприйнятті); помірний (середня гучність, за якої звук є комфортним для слухача і може бути легко розпізнаним); голосний (звук, який відчутно виражений, але не завдає дискомфорту); дуже голосний (звук, який привертає значну увагу і може завдавати дискомфорт) і надзвичайно голосний (екстремально висока гучність, що може бути навіть болісною або шкідливою для слуху) (рис. 3).

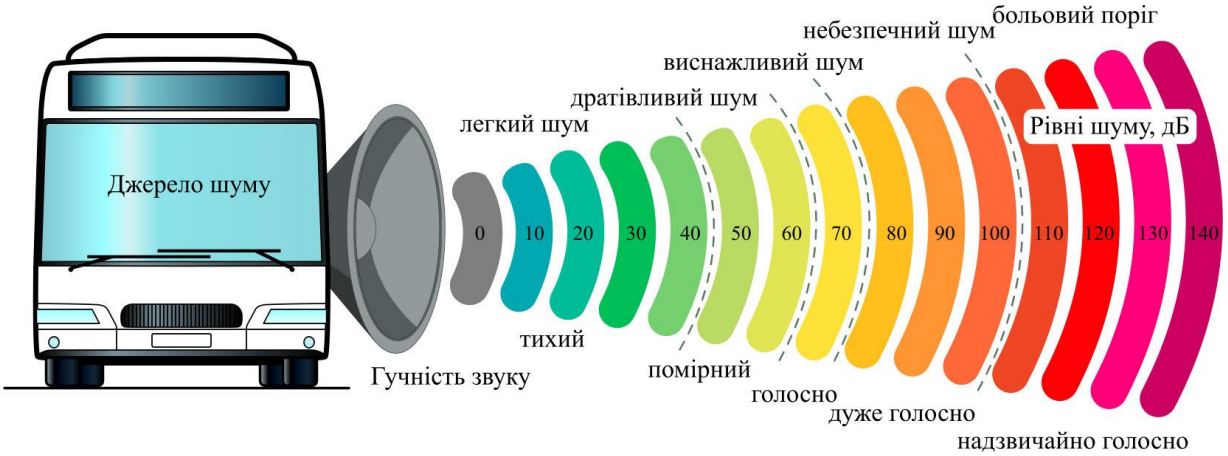

Рис. 3. Поділ шумового забруднення за рівнями

Механічний шум виникає внаслідок механічних коливань і рухів об'єктів (вузлів, механізмів, деталей) або матеріалів. Джерелом такого шуму є постукування і тертя деталей, переміщення газів або рідин (рух газів або рідин через труби чи канали може створювати шум, особливо якщо цей рух є турбулентним або ударним), коливання механізмів (рух механічних частин або механізмів може викликати коливання, що перетворюється у звукові хвилі), робота механічних пристроїв (деякі механічні пристрої, такі як насоси, компресори, електродвигуни і т. д., виробляють специфічний шум внаслідок своєї роботи), удари та вібрації (вони можуть генерувати акустичні хвилі, які спричиняють механічний шум). Ураховуючи «механічну» природу конструктивного шуму автомобіля, такий шум є переважаючим.

Інший розповсюджений вид шуму – аеродинамічний шум автомобіля, який виникає внаслідок взаємодії потоку повітря з його зовнішніми елементами під час руху. Цей тип шуму може бути відчутним, особливо за високих швидкостей. Вплив аеродинамічного шуму автомобіля визначений формою кузова (турбулентність і вихори повітряного потоку), деталями екстер'єру (дзеркала, дефлектори, антени та інші елементи призводять до додаткових шумових явищ), швидкість автомобіля (із збільшенням швидкості руху автомобіля зростає опір повітря, що викликає збільшення аеродинамічного шуму).

Електромагнітний шум у контексті автомобілів часто належить до шуму, який виникає в електричних або електронних системах автомобіля. Зазвичай це пов'язано зі споживанням електричної енергії та роботою електричних пристроїв.

Нормування рівнів шуму автомобільного транспорту регульовано різними стандартами та нормами, які встановлюють максимально припустимі рівні звукового тиску для різних типів транспортних засобів і за різних умов експлуатації [11-13]. Основні аспекти нормування шуму автомобілів включають:

- зовнішній шум автомобіля (стандарти встановлюють максимально припустимі рівні шуму, які може створювати автомобіль під час руху). Це може включати різні види шуму, такі як шини, силова установка, вихлопна система, аеродинамічний шум та ін.;

- шум у салоні автомобіля (внутрішній шум в автомобілі теж може бути регульованим параметром). Стандарти можуть визначати максимальні рівні шуму, спричинені роботою різних систем у салоні, таких як кондиціонер, радіо, система вентиляції тощо;

- методи вимірювання (стандарти визначають методи вимірювання рівнів шуму, щоб забезпечити однозначність і порівняння між різними автомобілями та умовами).

Рівень зовнішнього шуму від діяльності рухомого складу різних видів транспорту не має перевищувати 78-94 дБ з меншими значеннями для пасажирського транспорту і легкових автомобілів (рис. 4).

Рівень внутрішнього шуму характеризується нижчими значеннями. Наприклад, у салоні легкового автомобіля – близько 60 дБ; салоні тролейбуса – 78 дБ, при відчиненні та зачиненні дверей автобусами різке зростання шуму – до 90 дБ [14].

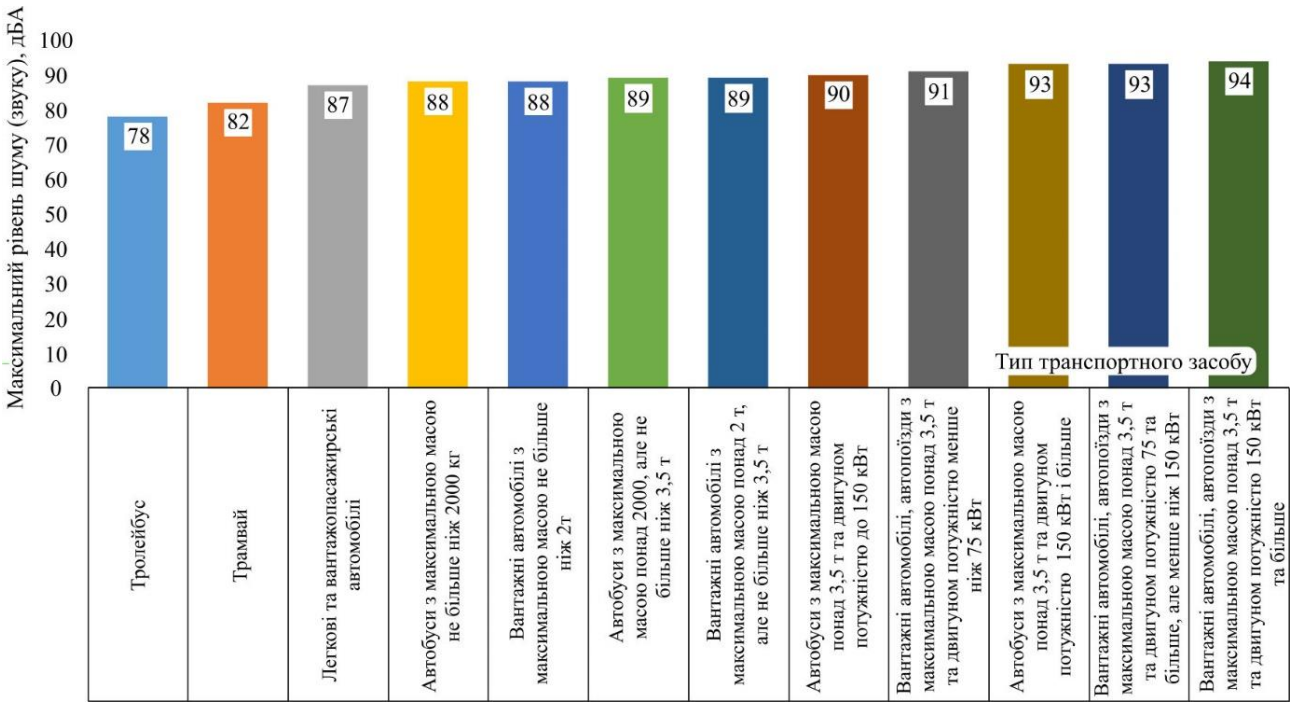

Рис. 4. Стандартизований максимальний рівень шуму (звуку) транспортних засобів [11-13]

Оцінювали шумове навантаження в салоні автобуса за допомогою портативного шумоміра Testo 816 [15] – електронний прилад, призначений для вимірювання шумів від 30 до 130 дБ за еквівалентним і максимальним значенням (рис. 5).

а б

Рис. 5. Загальний вигляд шумоміра (а) і його принципова схема (б):
1 – мікрофон; 2 – підсилювач сигналу; 3 – смуговий октавний фільтр;
4 – вимірювач (обчислювальний блок)

Для становлення поточних часових значень зміни рівня шуму з графічною інтерпретацією даних додатково використовували додаток Sound Meter на смартфоні з обов'язковим калібруванням датчика і порівнянням даних із шумоміром Testo 816.

Для дослідження шумового навантаження в салоні дизельного автобуса обрано міжміський автобус БАЗ-А079.20 «Еталон», який прямував за маршрутом «Радивилів – Рівне».

При роботі автобуса на холостому ходу в салоні спостерігали монотонний рівень шумового навантаження в діапазоні 58-63 дБ, що характерно для працюючого дизельного двигуна, який є основним джерелом шуму (рис. 6, а).

Рух автобуса в міських умовах (Рівне, Дубно) супроводжується зміною умов руху (швидкості транспортного потоку, наявності світлофорного регулювання, умов проїзду перехресть тощо), що у свою чергу збільшує максимальне шумове навантаження до 73 дБ (рис. 6, б). Ураховуючи невелику швидкість руху до 30-45 км/год у міському потоці, збільшення рівня шуму спостерігали саме під час натискання водієм на педаль газу, що змінювало режим роботи двигуна, який розміщено в передній частині і закритий захисний кожухом.

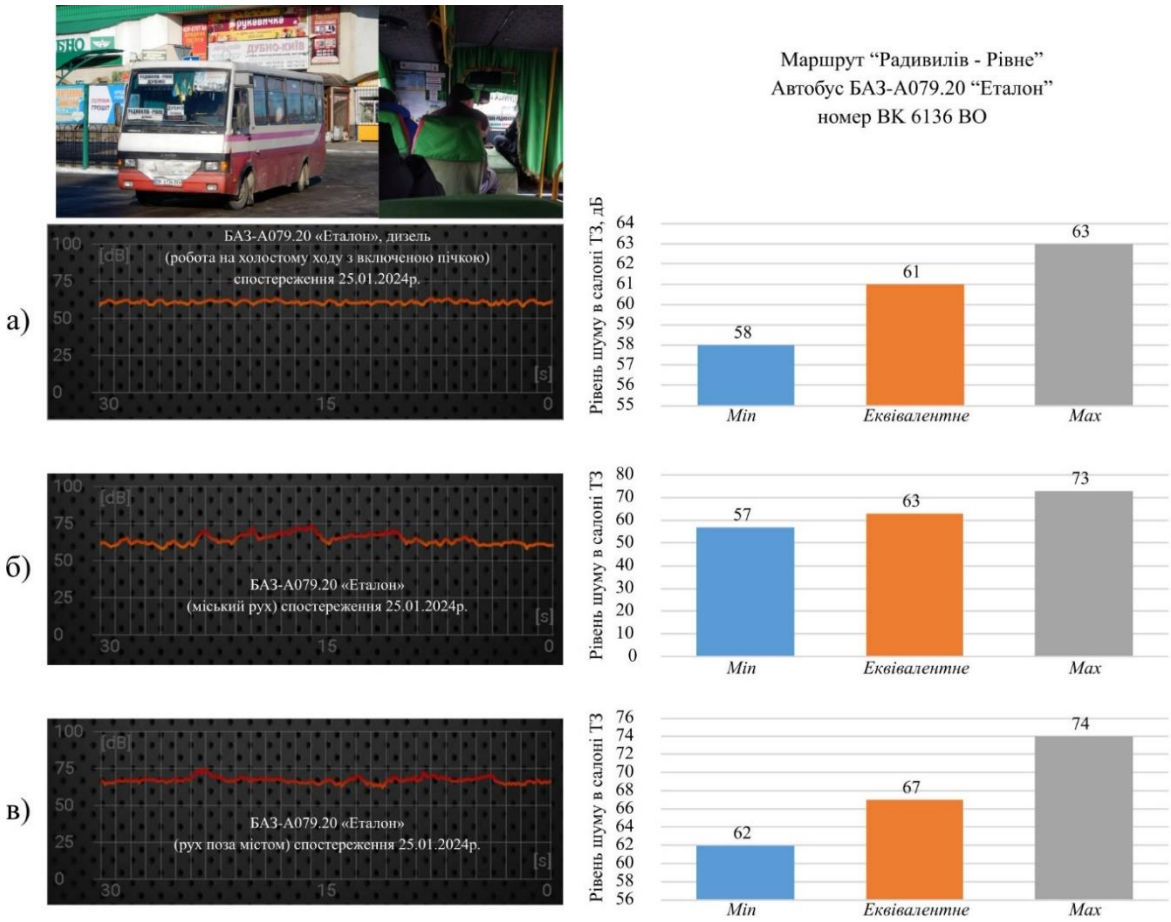

Рис. 6. Шумове навантаження в салоні автобуса за роботи на холостому ходу (а), під час руху в міських (б) і позаміських (в) умовах

Рух автобуса за містом супроводжений збільшенням шумового навантаження до 74 дБ та еквівалентного до 67 дБ (рис. 6, в). Це пояснюється підвищенням швидкісного режиму руху, контакту шин із асфальтованою дорогою, взаємодією повітряного середовища з елементами автобуса, появою вібрацій та інших шумів.

Шумове забруднення є серйозною екологічною проблемою через його вплив на здоров'я людини та наслідки для інших сфер життя суспільства. Всесвітня організація охорони здоров'я неодноразово зазначала про вплив шуму навколишнього середовища на здоров'я людини, зокрема дихальну, нервову, метаболічну та серцево-судинну системи. Інфраструктуру для перевезення людей і товарів вважають основним джерелом шуму в цьому типі середовищ. Фактично транспортний шум став другим за значущістю важливим екологічним джерелом погіршення здоров'я в розвинених країнах після забруднення дрібнодисперсними твердими частинками [16].

Дослідження, проведені багатьма вітчизняними і зарубіжними науковцями, також підтверджують, що цей забруднювач має шкідливий вплив на дихальну, нервову, метаболічну та серцево-судинну системи [17].

Європейське агентство з навколишнього середовища (ЕЕА) вказало, що шумове забруднення залишається основною проблемою здоров'я навколишнього середовища в Європі, а транспортна інфраструктура, така як дороги, залізниці, аеропорти і порти, відіграє важливу роль у цій екологічній проблемі [18]. Однак екологічний шум

також має відповідні наслідки для інших сфер суспільства, наприклад міського планування та збереження дикої природи [19].

Одним із напрямів зменшення шуму в автомобілях є використання новітніх матеріалів, покращення конструкції та впровадження активних систем управління шумом. Ці заходи спрямовані на зменшення як зовнішнього, так і внутрішнього шуму та можуть сприяти створенню більш комфортного та екологічно чистого автомобільного середовища.

Висновки. Шумове забруднення від діяльності автомобільного транспорту є серйозною проблемою для довкілля та здоров'я людей. Цей вид забруднення виникає внаслідок руху автомобілів і роботи їхніх компонентів, таких як силова установка, колеса, гальма, аеродинамічний та інші види шуму.

Хоча шумове навантаження в салоні автобуса має допустимі межі від 58 до 74 дБ (максимальне значення – 89 дБ), однак потребує запровадження заходів зменшення шуму, особливо для прямування автобусів на далекі відстані для комфортної поїздки пасажирам, із використанням шумознижувальних матеріалів, оптимізації конструкції салону та застосування тихих технологій.

У подальшому потрібне дослідження впливу шуму від діяльності автомобільного транспорту для оцінювання якості життя в міських умовах.

Список використаних джерел

1. Autex Automotive Innovations: Revolutionizing Noise Control in Vehicles. *FasterCapital*: вебсайт. URL: https://fastercapital.com/content/Autex-Automotive-Innovations--Revolutionizing-Noise-Control-in-Vehicles.html.

2. Як гучні звуки впливають на наш організм і які хвороби можуть спричинити – дослідження NYT. *Texty.org.ua* : вебсайт. URL: https://texty.org.ua/fragments/109897/yak-shum-vplyvaye-na-nash-orhanizm-i-yaki-hvoroby-mozhe-sprychynyty-doslidzhennya-nyt/.

3. Миронюк О. С., Шевчук В. В., Грабовець В. В. Вплив зовнішнього шуму легкового автомобіля на довкілля. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2019. № 1 (12). С. 107–113. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/56/35.

4. Rybakowskia M., Dudarskia G., Kowal E. Research and analysis of noise emitted by vehicles according to the type of surface roads and driving speed. *European Journal of Environmental and Safety Sciences*. 2014. Вип. 2(2). С. 71–78. URL: https://cutt.ly/hwMPnuXE.

5. Krishnamurthy N., Hansen J. H. L. Car noise verification and application. *International Journal of Speech Technology*. 2014. Т. 17. С. 67–181. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10772-013-9215-3.

6. Смаль М. В., Дзюбинська О. В., Сокур Т. Д. Методи боротьби з шумовим забрудненням у зонах впливу великих міст. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві.* 2019. Вип. 12. С. 184–191. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/article/view/156/129.

7. Абрамов В. М., Оболонков Д. Ф., Кулик О. А. Захист населених пунктів від транспортного шуму. *Збірник наукових праць ДонНАБА*. 2016. Вип. 4. С. 14-18. URL: https://donnaba.edu.ua/journal/images/2016-5/2016-05_14-18.PDF.

8. Шум. ВікіпедіЯ: вебсайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BC.

9. Яка характеристика відповідає за гучність звуку? Almedia: вебсайт. URL: https://form.almedia.com.ua/yaka-kharakteristika-vidpovidaie-za-guchnist-zvuku/#i.

10. Шум та його вплив на організм людини. ECOSOUND: вебсайт. URL: https://ecosound.kiev.ua/uk/statti/?record_id=105.

11. ДСТУ 4905:2008. Колісні транспортні засоби. Тролейбуси пасажирські: загальні технічні вимоги. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 45 с.

12. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 30 с.

13. ДСТУ 4876:2019. Вагони трамвайні пасажирські. Загальні технічні вимоги. Київ: Держспоживстандарт України, 2019. 23 с.

14. Транспортна екологія : навч. посіб. / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва та ін.; за заг. ред. С. В. Бойченка. Київ : НАУ, 2017. 507 с.

15. Шумомір Testo 816. Інструкція з експлуатації. URL: https://chemtest.com.ua/previews/_testo_816.pdf.

16. Всесвітня організація охорони здоров'я. *ВООЗ*: вебсайт. URL: https://www.who.int/ukraine/uk/publications/9789241516822.

17. Як гучні звуки впливають на наш організм і які хвороби можуть спричинити – дослідження NYT. *Texty.org.ua* : вебсайт. URL: https://texty.org.ua/fragments/109897/yak-shum-vplyvaye-na-nash-orhanizm-i-yaki-hvoroby-mozhe-sprychynyty-doslidzhennya-nyt/.

18. EEA : Європейське агентство з навколишнього середовища. *Eea.europa.eu* : вебсайт. URL: https://www.eea.europa.eu.

19. Боротьба за спокій у світі, наповненому шумовим забрудненням. *Imena.ua* : вебсайт. URL: https://www.imena.ua/blog/quiet-parks-noise-pollution/.

Хітров Ігор Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування. ORCID iD: 0000-0003-2310-1472. Тел.: +38 (099) 295-97-70. E-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua.

Ihor Khitrov, PhD (Tech), Associate Professor, department of the Transport Technology and Technical Service, National University of Water and Environmental Engineering. ORCID iD: 0000-0003-2310-1472. Tel.: +38 (099) 295-97-70. E-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua.

Статтю прийнято 09.04.2024 р.