

УДК 629.113/115; 534.836.2; 534.286; 534.322.3.699.84 DOI:10.33744/0365-8171-2026-119-028-036
UDC 629.113/115; 534.836.2; 534.286; 534.322.3.699.84

НИЗЬКОЧАСТОТНИЙ ЗВУКОПОГЛИНАЛЬНИЙ ЕКРАН

LOW-FREQUENCY SOUND-ABSORBING SCREEN



Федоров Володимир Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна, e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-1085-5112>



Корпач Олексій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна, e-mail: korpach1988@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-2496-4395>



Яценко Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна, e-mail: y_d@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0003-3674-0089>



Босенко Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна, e-mail: bosia4ok@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0002-9654-949X>

Анотація. Роль транспорту була високою у всі часи історії та практично у всіх країнах. На даний час в Україні розвинута потужна транспортна система, велику частку якої становить автомобільний транспорт. Його значимість в житті українців важко переоцінити: починаючи від індивідуальних цивільних перевезень, закінчуючи перевезеннями на фронті. Крім позитивних

факторів, автомобілі мають, на жаль, і негативні. Одним з негативних факторів автомобілів є шумове забруднення довкілля. Враховуючи той факт, що за останнє десятиліття в Україні значно зросла кількість автомобілів та щільність транспортних потоків, проблема шумового забруднення дедалі стає все більш актуальною. Особливо гострою вона є у містах. Недооцінювати негативний вплив шуму на людей не можна, оскільки він є одним із найважливіших факторів, який визначає умови роботи і відпочинку людей. При тривалій дії шум викликає необоротну втрату слуху (туговухість), шкідливо впливає на нервову систему, руйнує шлунково-кишковий тракт, згубно впливає на психіку людини, понижує гостроту зору, порушує діяльність серцево-судинної системи, знижує продуктивність праці, створює небезпеку нещасних випадків через невизначеність звукових сигналів та нерозуміння усної мови. Найбільше автомобілі дошкуляють громадянам з точки зору надмірного шуму у транспортних потоках. Боротися із шумом транспортних потоків можна декількома шляхами: по-перше, знизивши рівні зовнішніх шумів кожного з автомобілів, з яких складається транспортний потік; по-друге, не розміщувати забудову близько до магістралей; по-третє, відгородити магістралі від житлових забудов шумозахисними спорудами. У даній роботі розглядається саме останній варіант, оскільки перші два вкрай важко реалізувати. Якщо шумозахисна споруда по товщині не більше півметра, її прийнято називати шумозахисний екран. В окремих випадках доцільно встановлення таких екранів між протилежними смугами автомагістралей. Це дасть додатковий акустичний ефект. Обов'язково такі шумозахисні екрани повинні мати високі звукопоглинальні властивості, з чого слідує, що виконання останніх з суцільного бетону не допустимо. Як показав досвід експериментальних досліджень транспортного шуму, необхідно звертати серйозну увагу низькочастотній складовій останнього. Особливо, якщо паралельно з автомагістраллю по місту відбувається рух швидкісного трамваю, як це реально існує на правому березі міста Києва. Для зниження низькочастотної складової необхідно нетривіальний підхід, який саме і розглядається у даній роботі.

Ключові слова: автомобільні дороги, транспортний шум, акустична ефективність, звукопоглинальний екран, шумозахисний екран, частота, звукові хвилі.

Вступ. Проблема шуму на ділянках автомобільних доріг, що проходять через населені пункти, часто не вдається вирішити за допомогою впровадження вимог до автомобілів по зовнішньому шуму останніх, певними обмеженнями руху (наприклад, забороною проїзду важких вантажних автомобілів) та ін., то чи не єдиним способом, що залишається, є впровадження шумозахисних екранів. Їх існує велике різноманіття в залежності від матеріалу виготовлення, товщини, висоти, конструктивних особливостей тощо. Необхідно захищати від транспортного шуму також водіїв та пасажирів. Для цього на роздільній смузі також необхідно встановлювати шумозахисні екрани.

Метою роботи є розробка високоефективного шумозахисного екрану, ефективність якого була б високою також і в області низьких частот.

Виклад основного матеріалу. Спочатку розглянемо відомий пристрій [1, 2] для захисту від транспортного шуму, що виконаний у вигляді стінок з отворами і козирками (рис. 1), змонтованими похило на верхніх кромках стінок, причому отвори виконані перемінного перерізу із звуженням в напрямку внутрішніх поверхонь стінок, наприклад, конічної або пірамідальної форми, їх осі – перпендикулярними до поверхонь стінок, які встановлені на спільній основі і зв'язані між собою стяжками, а козирки виконані у вигляді спільного дахоподібного перекриття. Пристрій для поглинання шуму з доріг включає (рис. 1, а) основу 1, на якій встановлено дві стінки 2 з деяким нахилом одна до

одної. З внутрішнього боку стінки 2 вкриті шумопоглинаючим шаром 3 із легкого бетону із заповнювачем з пористих вулканічних порід або іншого будівельного звукопоглинаючого матеріалу. В стінках виконані отвори 4 перемінного перерізу із звуженням в напрямку внутрішніх поверхонь стінок, наприклад, конічної (рис. 1, б) або пірамідальної (рис. 1, в) форми. Стінки зв'язані між собою стяжками 5, виконані по висоті стінок, а вгорі стінок – дві петлі 6 для можливості встановлення пристрою на транспортний засіб і на місце експлуатації. Стяжки і петлі приварюються при складанні пристрою на заводі-виробнику до раніше заформованих в стінках закладних деталей (не показані). Аналогічно кріпляться стінки з основою (не показано). Таким чином, пристрій є резонансним поглиначем: порожнина з перфорованою передньою стінкою. Від відомих резонансних поглиначів такого типу його відрізняє те, що він має двосторонню дію (приймає звукові хвилі з протилежних сторін) і може розглядатись як комплексний поглинач, що складається з двох простих. Для захисту від попадання сторонніх предметів, а також снігу і дощової води, пристрій вкритий кришкою 7 з двома петлями 8 для захоплення кришки при перевезенні та монтажі. У випадку продування снігу і дощової води через отвори 4 у внутрішню порожнину пристрою для витікання води в основі виконано кілька отворів (на рис. не позначені).

Пристрій працює наступним чином. При виникненні шуму від транспортних джерел, які переміщуються по проїжджій частині доріг, звукові хвилі безперешкодно попадають в отвори ближньої стінки, які мають велику початкову площу. Відбиваючись від стінок конічної / пірамідальної вхідної порожнини, звукові хвилі входять у внутрішню порожнину пристрою. При цьому завдяки формі вхідної порожнини (плавного зменшення поперечного перерізу у бік порожнини пристрою) практично не відбувається повернення звукової енергії назад у довкілля. В даному випадку спрацьовує ефект акустичного клину.

Недоліком пристрою для поглинання шуму з доріг [1] є:

- не висока акустична ефективність в областях середніх та високих частот;
- вкрай низька акустична ефективність в області низьких частот (НЧ).

Ці недоліки пристрою для поглинання шуму з доріг [1, 2] впливають з його конструктивних особливостей: матеріал, з якого його пропонується виробляти, має не високі звукопоглинальні властивості, особливо в області НЧ. Була поставлена задача створення такого пристрою, який мав би високу акустичну ефективність: поглинав низькочастотний транспортний шум, який практично неможливо поглинути існуючими засобами.

Поставлена задача вирішується тим, що низькочастотний звукопоглинальний екран, що містить корпус у вигляді багатьох порожнин, утворених зовнішніми стінками та перегородками, які утворюють з передніми стінками резонаторні звукопоглиначі, що мають вхідні отвори у правій стінці корпусу, в якій розташовано горловину, яка виконана у вигляді концентраційних її циліндрів, які закріплено поперемінно на правій та лівій стінках, які телескопічно входять один в другий з утворенням лабіринтового повітропроводу [3].

На рис. 2 показана схема низькочастотного звукопоглинального екрану.

На рис. 3 показана схема низькочастотного звукопоглинального екрану, вид А на рис. 2.

На рис. 4 показана схема низькочастотного звукопоглинального екрану, розріз Б-Б на рис. 2. На рис. 2 показана схема низькочастотного звукопоглинального екрану, де зображено основний вид запропонованої корисної моделі з розрізом вертикальною площиною, також надається роз'яснення, з яких основних частин вона складається: лівої стінки 1, нижньої стінки 2, верхньої стінки 3, перегородок

4 і циліндрів 5 горловин резонатора, правої стінки 6 з циліндрами 7 горловини резонатора, порожнини 8 резонатора, отвору 9, кільцевої щілини 10.

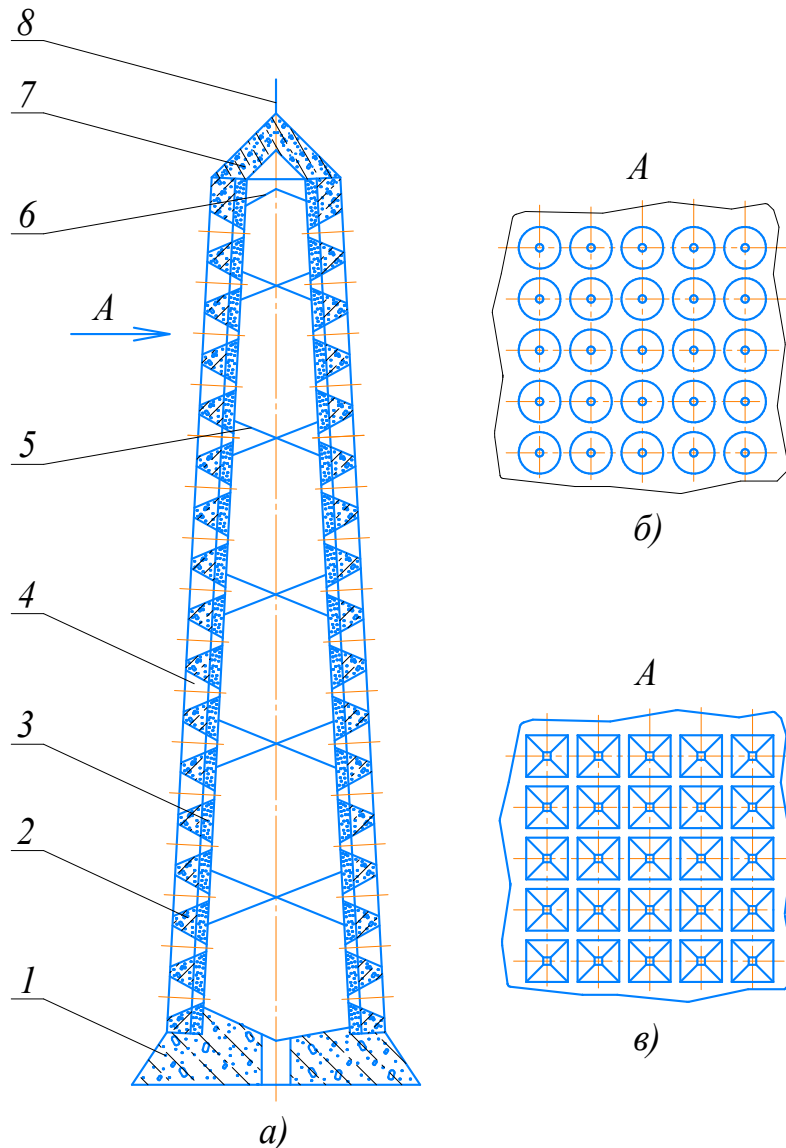


Рисунок 1 – Пристрій для захисту від шуму:

а – головний вид (вертикальний розріз); б – варіант: отвори у вигляді конусів; в – варіант: отвори у вигляді пірамід; 1 – основа; 2 – стінки; 3 – шумопоглинальний шар; 4 – отвори; 5 – стяжки; 6 – петлі; 7 – кришка; 8 – петлі для захоплення кришки при перевезенні та монтажі

Figure 1 – Noise protection device:

а – main view (vertical section); б – option: holes in the form of cones; в – option: holes in the form of pyramids; 1 – base; 2 – walls; 3 – noise-absorbing layer; 4 – holes; 5 – ties; 6 – hinges; 7 – cover; 8 – hinges for holding the cover during transportation and installation

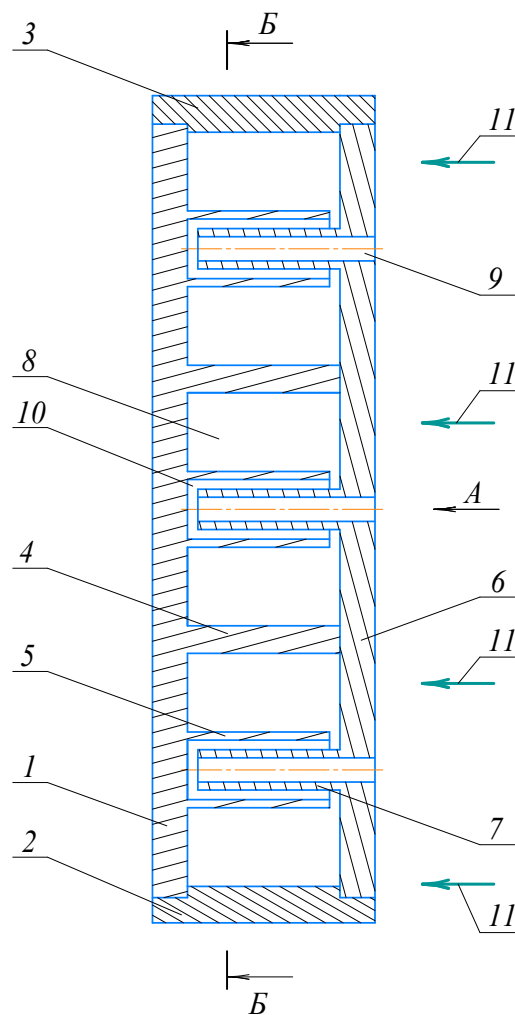


Рисунок 2 – Схема низькочастотного звукопоглинального екрану:

1 – ліва стінка; 2 – нижня стінка; 3 – верхня стінка; 4 – перегородки; 5, 7 – циліндри горловин резонатора; 6 – права стінка; 8 – резонатор; 9 – отвір; 10 – кільцева щілина; 11 – звукові хвилі (шум)

Figure 2 – Scheme of a low-frequency sound-absorbing screen:

1 – left wall; 2 – lower wall; 3 – upper wall; 4 – partitions; 5, 7 – cylinders of the resonator necks; 6 – right wall; 8 – resonator; 9 – hole; 10 – annular gap; 11 – sound waves (noise)

На рис. 3 показана схема низькочастотного звукопоглинального екрану, де зображено вид А запропонованої корисної моделі на рис. 1, також надається роз'яснення, з яких основних частин вона складається: нижньої стінки 2, верхньої стінки 3, циліндрів 5 горловин резонатора, правої стінки 6 з циліндрами 7 горловини резонатора, отвору 9.

На рис. 4 показана схема низькочастотного звукопоглинального екрану, зображено розріз Б-Б запропонованої корисної моделі на рис. 1, також надається роз'яснення, з яких основних частин вона складається: лівої стінки 1, нижньої стінки 2, верхньої стінки 3, перегородок 4 і циліндрів 5 горловин резонатора, циліндрів 7 горловини резонатора, отвору 9.

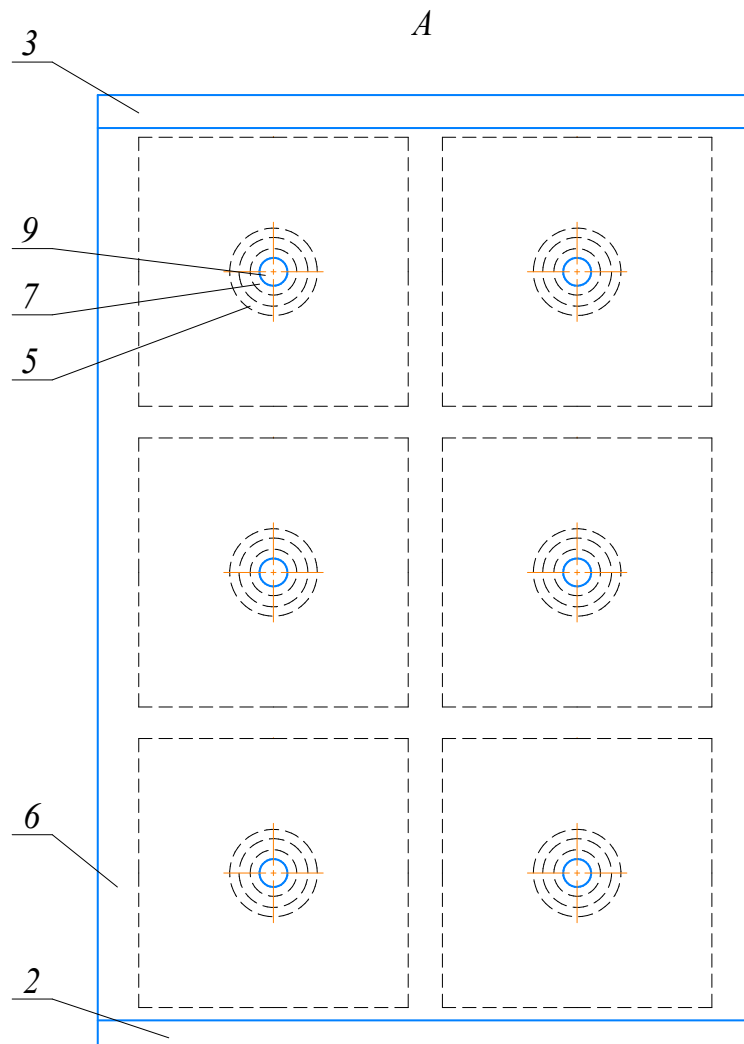


Рисунок 3 – Схема низькочастотного звукопоглинального екрану (вид А на рис. 2):

2 – нижня стінка; 3 – верхня стінка; 5, 7 – циліндри горловин резонатора; 6 – права стінка; 9 – отвір

Figure 3 – Scheme of a low-frequency sound-absorbing screen (view A in Fig. 2):

2 – lower wall; 3 – upper wall; 5, 7 – cylinders of the resonator necks; 6 – right wall; 9 – hole

Низькочастотний звукопоглинальний екран складається із корпусу у вигляді багатьох порожнин, утворених лівою стінкою 1, нижньою стінкою 2, верхньою стінкою 3, перегородками 4 і циліндрами 5 горловини резонатора, а також правої стінки 6 з циліндрами 7 горловини резонатора. Стінки 1 і 6, а також перегородки 4 і циліндри 5 утворюють резонаторну камеру 8. Отвір 9 циліндра 7, щілина між торцем циліндра 7 і лівою стінкою 1, кільцева щілина 10 між циліндрами 5 і 7 та щілина між торцем циліндра 5 і правою стінкою 6 утворюють горловину резонатора.

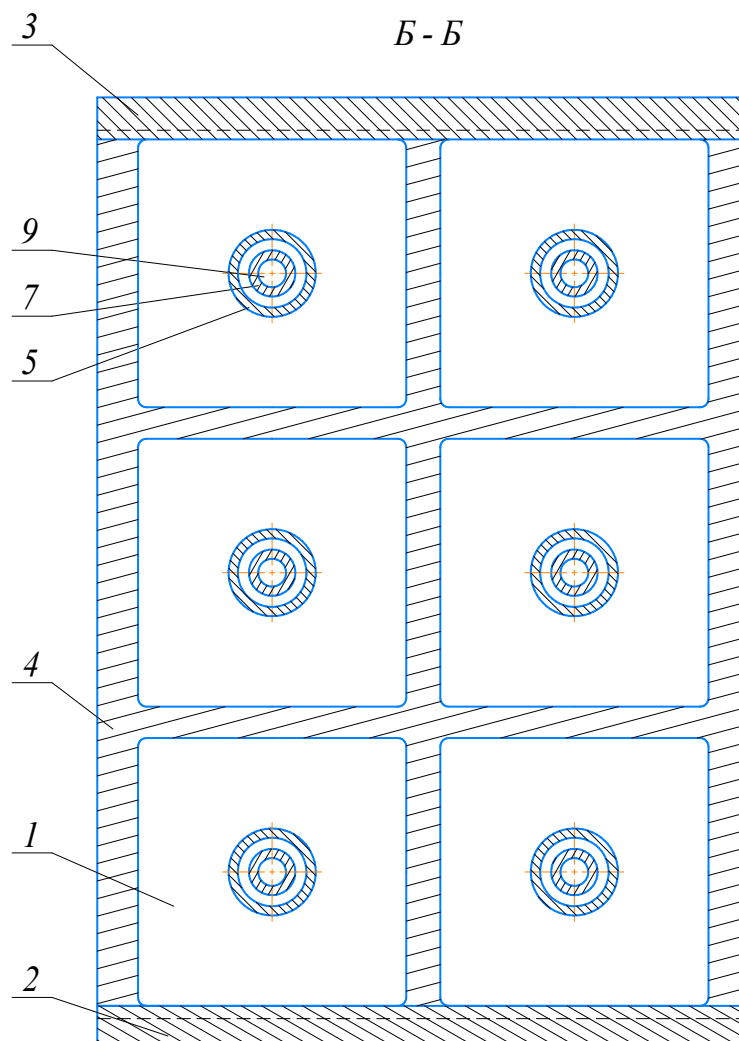


Рисунок 4 – Схема низькочастотного звукопоглинального екрану (вид Б на рис. 2):

1 – ліва стінка; 2 – нижня стінка; 3 – верхня стінка; 5, 7 – циліндри горловин резонатора; 6 – права стінка; 9 – отвір

Figure 4 – Scheme of a low-frequency sound-absorbing screen (view B in Fig. 2):

1 – left wall; 2 – lower wall; 3 – upper wall; 5, 7 – cylinders of the resonator necks; 6 – right wall; 9 – hole

Низькочастотний звукопоглинальний екран працює наступним чином.

Низькочастотний звукопоглинальний екран містить корпус у вигляді багатьох порожнин. Звукові хвилі (шум) *11* падають на праву стінку *6* низькочастотного звукопоглинального екрану і їх низькочастотна складова високоефективно поглинається кожною резонаторним глушником шуму. Резонаторний глушник є елементарною коливальною системою із затуханням, яка, будучи збуджена звуковою хвилею, що падає на неї, відбирає від цієї хвилі акустичну енергію на частотах, близьких до власної частоти резонатора. Максимальне поглинання енергії для одиночного резонатора буде

спостерігатися на резонансній частоті, яка прямопропорційна швидкості звуку в середовищі та обернено пропорційна квадратному кореню об'єму резонаторної камери та довжина горловини резонатора [2].

Як випливає з формули (1), чим більше довжина горловини резонатора, тим нижче частота резонансу останнього. У корисній моделі запропоновано горловину у формі лабіринту, що робить довжину останньої великою (а значить низькою частоту резонансу), при цьому ширина екрану не збільшується, що дає останньому конструктивні переваги. Велика кількість порожнин (резонаторних глушників) створює високу акустичну ефективність низькочастотного звукопоглинального екрану.

Запропонований низькочастотний звукопоглинальний екран має всі ознаки дієздатності, оскільки фізичні процеси, які в ньому відбуваються, абсолютно ідентичні тим, що описані в [1, 2]. Конструктивні особливості, які відрізняють запропонований екран від того пристрою для поглинання шуму з доріг, що описаний в [1, 2], не можуть вплинути на його працездатність.

Висновки. Розроблено низькочастотний звукопоглинальний екран, відмінною особливістю якого є використання групи резонаторних глушників типу резонатора Гельмгольца. Причому, для пониження резонаторної частоти останніх запропоновано монтувати горловину у вигляді телескопічного стакана. Також для зручності використання пропонується використання даної горловини всередині порожнини резонатора. Такі пропозиції забезпечать крім високої акустичної ефективності запропонованого низькочастотного звукопоглинального екрану на низьких частотах, велику довговічність останньому.

Перелік посилань

1. Патент на корисну модель № 82377 UA, МПК (2006) G10K 11/00. Пристрій для поглинання шуму з доріг / В. В. Федоров, В. П. Сахно ; заявник і патентовласник Національний транспортний університет. № u200601198 ; заявл. 07.02.2006 ; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.
2. Федоров В. В. *Акустика автомобіля* : монографія. Київ : Принт, 2008. 285 с.
3. Патент на корисну модель № 161609 UA, МПК (2025.01) E01F 8/00. Низькочастотний звукопоглинальний екран / В. В. Федоров, О. А. Корпач, Д. М. Яценко, В. М. Босенко ; заявник і патентовласник Національний транспортний університет. № u202503142 ; заявл. 30.06.2025 ; опубл. 17.12.2025, Бюл. № 51.

LOW-FREQUENCY SOUND-ABSORBING SCREEN

Volodymyr Fedorov, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com, tel.+380442804252, <https://orcid.org/0000-0002-1085-5112>.

Oleksii Korpach, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: korpach1988@gmail.com, tel.+380442804252, <https://orcid.org/0000-0002-2496-4395>.

Dmytro Yashchenko, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: y_d@ukr.net, tel.+380442804252, <https://orcid.org/0000-0003-3674-0089>.

Volodymyr Bosenko, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: bosia4ok@ukr.net, tel.+380442804252, <https://orcid.org/0000-0002-9654-949X>.

Summary. The role of transport has been high at all times of history and in almost all countries. Currently, Ukraine has a developed powerful transport system, a large share of which is road transport. Its importance in the lives of Ukrainians is difficult to overestimate: from individual civilian transportation to transportation at the front. In addition to positive factors, cars have, unfortunately, negative ones. One of the negative factors of cars is environmental noise pollution. Given the fact that over the past decade in Ukraine the number of cars and the density of traffic flows have significantly increased, the problem of noise pollution is becoming increasingly relevant. It is especially acute in cities. The negative impact of noise on people cannot be underestimated, since it is one of the most important factors that determines the conditions of work and recreation of people. With prolonged exposure, noise causes irreversible hearing loss (hearing loss), has a harmful effect on the nervous system, destroys the gastrointestinal tract, has a detrimental effect on the human psyche, reduces visual acuity, disrupts the cardiovascular system, reduces labor productivity, and creates a risk of accidents due to the indistinctness of sound signals and misunderstanding of spoken language. Cars annoy citizens the most in terms of excessive noise in traffic flows. There are several ways to combat traffic noise: first, by reducing the external noise levels of each of the cars that make up the traffic flow; second, not to place buildings close to highways; third, to fence off highways from residential buildings with noise-protection structures. This paper considers the latter option, since the first two are extremely difficult to implement. If the noise-protection structure is no more than half a meter thick, it is usually called a noise-protection screen. In some cases, it is advisable to install such screens between opposite lanes of highways. This will give an additional acoustic effect. Such noise protection screens must necessarily have high sound-absorbing properties, which means that the latter cannot be made of solid concrete. As the experience of experimental studies of transport noise has shown, it is necessary to pay serious attention to the low-frequency component of the latter. Especially if a high-speed tram runs parallel to the highway in the city, as it actually does on the right bank of the city of Kyiv. To reduce the low-frequency component, a non-trivial approach is required, which is what is considered in this work.

Keywords: highways, traffic noise, acoustic efficiency, sound-absorbing screen, noise protection screen, frequency, sound waves.

References

1. Fedorov, V.V. (2008). Prystriy dlya pohlynannya shumu z dorih [Road noise absorption device]. Patent No. 82377, bulletin "Industrial Property" No. 7. [In Ukrainian].
2. Fedorov V.V. (2008). *Akustyka avtomobilya* : Prynt [Car acoustics : Print]. Kyiv, 285. [In Ukrainian].
3. Fedorov, V.V., Korpach, O.A., Yashchenko, D.M., Bosenko, V.M. (2025). Nyz'kochastotnyy zvukopohlynal'nyy ekran [Low-frequency sound-absorbing screen]. Patent No. 161609, bulletin "Industrial Property" No. 51. [In Ukrainian].

Дата надходження до редакції 10.01.2026.

Дата прийняття статті після рецензування 05.02.2026.